7

1979



messen · steuern · regeln

22. Jahrgang
Heft 7
Juli 1979

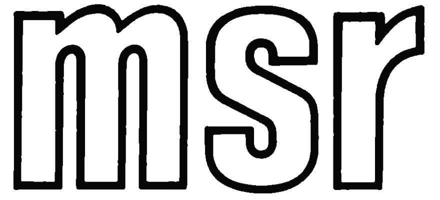
Verlagspostamt Leipzig
EVP: 4,00 M



Index 32525

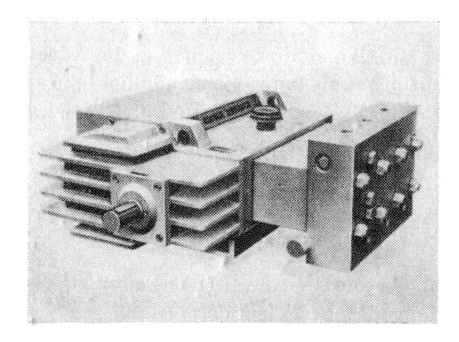
ISSN 0026-0347

**VEB
Verlag Technik
Berlin**



messen · steuern · regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik



Die in den SIGMA-Werken der ČSSR vereinigten Produktionsbetriebe fertigen Pumpen, -anlagen und Industriearmaturen für alle Zweige der Volkswirtschaft. Unser Bild zeigt die neue Tauchkolbenpumpe 25-PAR aus der Reihe der Plungerpumpen (s. auch S. 413 und 414).

Herausgeber:
Wissenschaftlich-technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

7 22. Jahrgang
Juli 1979

VEB VERLAG TECHNIK

AUFSÄTZE

ISSN 0026-0347

Prof. Dr. sc. techn. *R. Müller*, Leipzig[1])

Betrachtungen zur Ökonomie der Automatisierung

IA 6.2

1. Ziele der Automatisierung

Für die Automatisierung kann man aus technischer Sicht folgende Ziele nennen [1]:

- Ermöglichen von Prozeßabläufen
- Verbesserung der Zuverlässigkeit
- Erzielung direkt berechenbarer höherer ökonomischer Ergebnisse
- Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen
- Erhöhung der Betriebsbereitschaft oder Anpassungsfähigkeit.

Die Beiträge zur Annäherung an diese Ziele schlagen sich letzten Endes alle in besseren ökonomischen Ergebnissen nieder, so daß man aus ökonomischer Sicht folgende Ziele nennen kann:

- Senkung der Selbstkosten
- Erhöhung der Erlöse
- Erhöhung des Anwendernutzens.

Das Ermöglichen von Prozeßabläufen durch Automatisierungseinrichtungen ist für die Intensivierung der technologischen Anlagen unerläßlich. In der Regel geht damit eine Senkung der Investitionskosten der technologischen Anlage einher.

Durch die Automatisierung wird ein schnellerer Prozeßablauf oder eine kompliziertere Prozeßstruktur ermöglicht oder der Prozeß im Interesse der Ausbeute oder des Wirkungsgrades näher an gefährlichen Zuständen betreibbar. Typische Beispiele sind die Steigerung der spezifischen Leistung oder das Einsparen bzw. die Reduzierung von Pufferbehältern zwischen Verfahrensschritten.

Durch die genauere Einhaltung von festigkeitsbestimmenden Parametern, wie Temperatur, Druck und deren Gradienten, werden Lebensdauer und Sicherheit der Anlage erhöht, der Instandhaltungsaufwand gesenkt.

Durch eine zweckmäßige Gestaltung der Automatisierungsanlage als Mittler zwischen Bedienungspersonal und technologischem Prozeß wird eine Reduzierung von Bedienungsfehlern erreicht (ingenieurpsychologisch richtige Geräteanordnung, Informationsverdichtung, Verriegelungsschaltungen, Sicherung gegen Fehlbedienung).

Durch die dichtere Annäherung an technische Grenzen (Durchsatz, Druck, Temperatur usw.) wird eine Erhöhung der Produktion und deren Qualität ermöglicht oder eine Einsparung an Roh-, Hilfsstoffen oder Energie.

Schließlich kann eine Arbeitskräfteeinsparung erreicht werden. Durch Automatisierungssysteme ist eine Beseitigung gesundheitsschädigender, anstrengender oder monotoner Arbeit möglich, die Gefahren können herabgesetzt, der Umweltschutz kann verbessert werden.

Durch Automatisierung ist ein schnelleres und verlustarmes Umsteuern bei Sortenwechsel möglich, die Anfahrzeit von Reserveaggregaten kann wesentlich herabgesetzt werden.

Diese Aufzählung zeigt, welche Nutzenselemente den eingangs genannten Zielen der Automatisierung (aus technischer Sicht) zuzuordnen sind. Nach diesen allgemein einleitenden Bemerkungen soll für die Anlagenautomatisierung in Fließgutprozessen eine Auffassung zur Behandlung der Probleme dargelegt werden.

2. Klassifizierung der Automatisierung

Es ist für Betrachtungen zur Ökonomie zweckmäßig, die Automatisierung in zwei Richtungen zu unterteilen, nämlich einerseits hinsichtlich Struktur und Gerätetechnik und andererseits hinsichtlich der Wechselwirkungen zum Prozeß.

Für letzteres gibt es das Begriffspaar:

- funktionsintegrierte Automatisierung
- funktionsverbessernde Automatisierung.

Die funktionsintegrierte Automatisierung (Basisautomatisierung) ist zur Sicherstellung des Betriebes der technologischen Anlage unentbehrlich. Die funktionsverbessernde (ökonomisch begründete) Automatisierung ist i. allg. zur besseren Annäherung der technologischen Anlage an ein Optimum, z. B. durch das Suchen und Einhalten optimaler Arbeitspunkte, oder einfach nur durch dichtere Annäherung der Arbeitspunkte (Sollwerte) an die zulässigen Grenzen, die durch genauere Regelung ermöglicht wird, zu charakterisieren.

Hinsichtlich des Entwurfes der Automatisierungsanlage muß man nach Struktur und Gerätetechnik untergliedern. Ein Großteil des Nutzens der Automatisierung entsteht geräteunabhängig durch die Automatisierungsfunktion (Signalflußstruktur). Diese Funktion muß durch Geräte realisiert werden, d. h. durch eine funktionserfüllende Instrumentierung. Häufig liefert die funktionserfüllende Instrumentierung keinen Beitrag zum Nutzen. Man muß dafür jeweils den Gebrauchswert der funktionserfüllenden Instrumentierung in Relation zum Aufwand betrachten. In einigen Ausnahmefällen ergibt sich beispielsweise durch die Genauigkeit oder Zuverlässigkeit der funktionserfüllenden Instrumentierung ein zusätzlicher Beitrag zum Nutzen.

Für die weiteren Betrachtungen ist zweckmäßigerweise zwischen

- Automatisierungsfunktion
- funktionserfüllende Instrumentierung

zu unterscheiden.

3. Nutzen funktionsintegrierter Automatisierung

Häufig dominiert die Vorstellung, eine Gesamtanlage setzt sich additiv aus den Teilleistungen der einzelnen Gewerke zusammen. Für Automatisierungssysteme, insbesondere dann, wenn Regelungen enthalten sind, führt diese Betrachtungsweise zu unvertretbaren Fehlaussagen. An die additive Betrachtungsweise ist die Vorstellung gebunden, den Nutzen der Automatisierungsanlagen separat anzugeben [2]. Betrachten wir zunächst die funktionsintegrierte Automatisierungsfunktion, so wird deutlich, daß die additive Betrachtungsweise nicht möglich ist. Als vergleichbares alltägliches Beispiel kann man für diesen Fall

---

[1]) Nach einem Vortrag zur Wissenschaftlichen Konferenz der TH Leipzig vom 4. bis 6. Dezember 1978.

Mitteilung aus der TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen.

die Lenkung eines Autos heranziehen. Natürlich ist jede separate Nutzensbetrachtung für die Lenkung des Autos sinnlos, da von vornherein klar ist, daß das Auto lenkbar und diese Lenkung vom Fahrgastraum aus zu betätigen sein muß.

Als funktionserfüllende Instrumentierung kann man die konstruktive Ausführung betrachten. Ob das Auto eine Schneckenlenkung oder Zahnstangenlenkung erhalten soll, ist durch Vergleich von Gebrauchswert und Aufwand zu diskutieren, d. h. durch Gütekriterien für die technische Lösung.

In diesem Modellbeispiel kann man (als Pendant) für die ökonomisch begründete (funktionsverbessernde) Automatisierung eine Servolenkung am Auto betrachten. Der damit zu erreichende Komfort ist als zusätzlicher Nutzen separat betrachtbar. An dem Beispiel der Lenkung eines Autos wird deutlich, daß Nutzensbetrachtungen für die funktionsintegrierte Automatisierungsfunktion problematisch sind. Der Nutzen entsteht über Intensivierungseffekte in der technologischen Anlage und ist von dieser meist nicht zu trennen.

Weiterhin wird deutlich, daß durch die funktionserfüllende Instrumentierung oft kaum errechenbarer zusätzlicher Nutzen entsteht. Dafür ist das Verhältnis von Gebrauchswert und Aufwand zu diskutieren, das man als Qualitätskriterien der Instrumentierung oder der Automatisierungsanlage definieren kann [3].

4. Bewertung der funktionserfüllenden Instrumentierung

Welche Komponenten in ein verallgemeinertes Gütekriterium für Automatisierungsanlagen eingehen, wurde bereits in [3] und [4] behandelt. Danach sind solche Gütemerkmale wie

- Ausrüstungskosten
- Zuverlässigkeit
- Platzbedarf
- Instandhaltungsbedarf

zur Beurteilung der Instrumentierung heranzuziehen.

Es erscheint durchaus denkbar, die prinzipiellen Anforderungen hinsichtlich dieser Gütemerkmale in einem Standard zusammenzufassen. Dazu ist nötig, das Gewicht, das die einzelnen Komponenten relativ zueinander haben sollen, in Abhängigkeit von den Bedürfnissen des Anwendungsfalles festzulegen. Es erscheint zweckmäßig, Standardgewichtsvektoren für verschiedene technologische Linien zu vereinbaren [3], damit die Bestimmung der Gewichtsverteilung nicht bei jedem Vorhaben neu erarbeitet werden muß und nicht dem Projektingenieur aufgebürdet wird.

Tafel. Vorschlag für die Gewichtskoeffizienten der Gütemerkmale für einige technologische Linien (in %)

1 Investkosten; 2 Zuverlässigkeit; 4 Platzbedarf; 5 statische Genauigkeit; 7 Wartungsbedarf; 9 Bedienungskomfort; 13 Belästigung der Umgebung; 14 Arbeitsgeschwindigkeit; 15 Service des Herstellers

		a_1	a_2	a_4	a_5	a_7	a_9	a_{13}	a_{14}	a_{15}
Energieerzeugung und Chemie	Hauptgrößen	–	50	–	30	10	10	–	–	–
	Hilfsgrößen	20	50	–	–	20	10	–	–	–
Komfort-Klimatisierung		30	10	–	–	20	–	10	–	30
Steuerung von Verarbeitungsmaschinen		20	20	–	–	–	10	20	10	20
Fahrzeuge – Schiffe		20	50	20	10	–	–	–	–	–

Die Tafel zeigt einen subjektiven Vorschlag für Standardgewichtsvektoren für einige technologische Linien. Dabei wurden Gewichte $a_i < 5\%$ zu $a_i \approx 0$ gesetzt. Die Numerierung der Koeffizienten macht deutlich, daß einige Komponenten vernachlässigt wurden.

Bei solchen Überlegungen muß man berücksichtigen, daß die Gütebewertung in erster Linie dem Variantenvergleich dient. Man darf sich keinesfalls einen Standard, nach dem Absolutwerte abgerechnet werden, vorstellen. Ein wesentlicher Nutzen derartiger Festlegungen wird darin liegen, dem Verwechseln von Berechenbarkeit und Wichtigkeit entgegenzuwirken.

Eine gewisse Ausnahme bildet die von der Instrumentierung abhängige Genauigkeit. Diese Komponente hat gewöhnlich einen mit der Automatisierungsfunktion nicht erfaßbaren Nutzensanteil.

Bei der Genauigkeit ist sowohl der Einfluß der Struktur als auch der der funktionserfüllenden Instrumentierung zu beachten.

Für die ökonomisch begründete Automatisierung sind Nutzensbetrachtungen angebracht und notwendig. Durch die Steigerung der Genauigkeit sind Einsparungen in der Produktion zu erreichen, die den zusätzlichen Aufwand rechtfertigen müssen.

5. Beispiel

Ein typisches Beispiel für funktionsintegrierte Automatisierungsfunktionen ist die Koordinierung von Teilprozessen einer Anlage durch Regelungen [5]. Beispielsweise dient die Wasserstandsregelung am Dampferzeuger letzten Endes zur Koordinierung von Dampfentnahme und Speisewasserzufuhr. Natürlich ist die Einhaltung des Wasserstandes im zulässigen Bereich der Kesseltrommel funktionsnotwendig für den Dampferzeuger. Es ist aber nicht möglich, das ökonomische Gesamtergebnis des Kraftwerks zum Betrag des Wasserstandes in der Kesseltrommel in Beziehung zu bringen. Lange bestand die Vorstellung, man müsse daran arbeiten, das ökonomische Gesamtergebnis einer Anlage zum Betrag der einzelnen Regelgrößen des Prozesses in Beziehung zu bringen. Ebenso war die Vorstellung vorhanden, man müsse daran arbeiten, das ökonomische Gesamtziel oder Gesamtergebnis in Forderungen an die Genauigkeit einzelner Regelgrößen umzusetzen. Dieses Beispiel der Wasserstandsregelung als typische Koordinierungsregelung zeigt, daß es für einen großen Teil der Automatisierungsaufgaben prinzipiell nicht möglich ist, einen Zusammenhang zwischen Regelgenauigkeit (momentaner Wert des Wasserstandes) und ökonomischem Ergebnis herzustellen. Typische Fälle der ökonomischen Bewertung von Regelgrößen wurden in [6] zusammengestellt.

Für den Nutzen funktionsverbessernder Automatisierung gibt es genügend Beispiele in der Literatur [7], so daß hier darauf verzichtet werden kann.

Zusammenfassung

Die Ausführungen zeigen, daß nur für Teile der Automatisierung die additive Denkweise (technologische Anlage mit hinzugefügter Automatik) und damit die Berechnung eines separaten Nutzens richtig ist.

Wo Nutzensberechnungen sinnvoll sind, entsteht der größere Teil des Nutzens geräteunabhängig durch die Automatisierungsfunktion, d. h., er ist mit der Aufgabenstellung an den MSR-Anlagenbau bereits fixiert.

Die ökonomische Seite der funktionserfüllenden Instrumentierung ist durch verallgemeinerte Gütekriterien für die Anlagen zu erfassen.

Für die Gewichtsverteilung zwischen den einzelnen Komponenten eines solchen Gütekriteriums sollten für typische technologische Linien Standardgewichtsvektoren definiert werden.

Literatur

[1] *Müller, R.; Starke, L.; Töpfer, H.:* Projektierung von Automatisierungsanlagen; Tagungsmaterial der Jahrestagung der WGMA (7. und 8. November 1978) in Karl-Marx-Stadt.

[2] *Viehweger, G.:* Probleme der Ermittlung der ökonomischen Effektivität der Automatisierung. Dissertation (B), TH Leipzig 1978.

[3] *Müller, R.:* Qualitätskriterien für Automatisierungsanlagen. Technische Information des VEB GRW Teltow (1972) H. 4, S. 150 – 154.

[4] *Kreiß, M.:* Die Auswahl und Bewertung der Prozeßinstrumentierung. Erdöl und Kohle 24 (1971) H. 7, S. 463 – 467.

[5] *Niederlinski, A.:* Strukturentwurf von Verfahrensregelungen mittels Analyse der Stoff- und Energiebilanzen. Wiss. Berichte der IHL (1975) H. 18, S. 1 – 9.

[6] *Hörig, H. J.:* Zur Problematik der Bewertung von Regelgrößen. Wiss. Berichte der THL (1978) H. 30, S. 7 – 13.

[7] *Nisenfeld, A. E.:* Abschätzung der Rentabilität zusätzlicherer Investitionen in der Instrumentierung. Regelungstechn. Praxis 17 (1975) H. 9, S. 273 – 278.

msr 6902

Dr.-Ing. *R. Wolf*, Magdeburg[1])

Galvanische Trennung und Sicherheitstechnik in Automatisierungsanlagen

IA 4.1.4; 5.6.2.9

0. Einleitung

Die Erhöhung der Komplexität von Automatisierungsanlagen und anwendungsbedingte Besonderheiten der Prozesse lenken im verstärkten Maß die Aufmerksamkeit auf gesicherte Prozeßinformationen durch Fehlerminimierung. Dabei tritt ein in der Vergangenheit häufig unterschätztes und unbeachtet gelassenes Problem der allgemeinen Meßtechnik, die Störspannungsunterdrückung, in den Vordergrund.

Zum Problem der Störspannungsunterdrückung, insbesondere der Unterdrückung von Gleichtaktstörungen, ist eine Vielzahl von Veröffentlichungen bekannt, die sich mit schaltungstechnischen und anlagentechnischen Möglichkeiten zur Reduzierung diesbezüglicher Fehlergrößen beschäftigen. Ebenso wird der Explosionsschutz in Form eigensicherer Schaltungstechnik immer mehr zu einer allgemeinen Gebrauchswertforderung an Automatisierungsgeräte.

Im folgenden soll ein Überblick über die galvanische Trennung, auch unter dem Begriff Potentialtrennung bekannt, und die Sicherheitstechnik gegeben werden, wobei anwendungsbezogene Beispiele die dargestellten Fakten erläutern sollen.

1. Begriffsbestimmung der galvanischen Trennung und Sicherheitstechnik

1.1. *Störspannungen in Automatisierungsanlagen*

Auftretende Störspannungen lassen sich in Gleichtakt- und Gegentaktstörspannungen unterteilen. Nach [1] wird eine Gegentaktstörspannung induktiv eingekoppelt und liegt zwischen zwei Leitern an. Damit muß eine Gegentaktstörspannung zwangsläufig eine Wechsel- oder Impulsgröße sein. Wirksame Effekte sind jedoch nur von Spannungen zu erwarten, deren Amplitude so groß ist, daß eine merkliche Einkopplung in den Meßkreis erfolgen kann. Das betrifft in Automatisierungsanlagen fast ausschließlich Spannungen mit Frequenzen von 50 Hz bzw. 100 Hz. Da die Dynamik der meisten Prozeßgrößen (z. B. Temperatur, Füllstand, Druck) kleiner als 10 Hz ist, kann man ohne Beeinträchtigung des Meßprozesses Gegentaktstörspannungen mit Tiefpaßfiltern ($f_{TP} = 50$ Hz bzw. 100 Hz; Bild 1) wirksam unterdrücken. Die Filter werden in der Regel für eine Dämpfung von 40 ... 50 dB ausgelegt.

Gleichtaktstörspannungen treten in Zweileiterkreisen auf, die zur Übertragung von Signalspannungen benutzt und über vorhandene Erdschleifen eingekoppelt werden. Bild 2 zeigt die Ersatzschaltung.

Die Gleichtaktstörspannung stellt eine Potentialdifferenz zwischen zwei unterschiedlichen Meßpunkten (*MP* 1 und *MP* 2) dar. Diese Potentialdifferenzen treten in Anlagen aus folgenden Gründen auf:

- Influenzwirkungen von Starkstromleitungen
- Verunreinigung des Bodens durch chemische Substanzen (ausgefällte Teilchen aus Abgasen, sonstige Verschmutzungen). Häufig besteht Dissoziationsfähigkeit, wodurch die Bildung von unterschiedlichen Erdpotentialen begünstigt wird.

Die Größe der Gleichtaktstörspannung kann durchaus mehrere hundert Volt betragen, und die Frequenz ist wegen der oben angedeuteten Entstehungsursachen für Gleichtaktspannungen ebenfalls nicht so festgelegt wie bei den Gegentaktstörspannun-

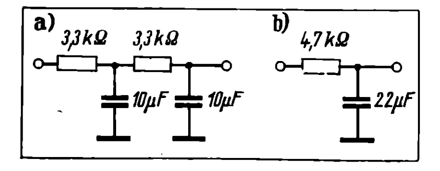
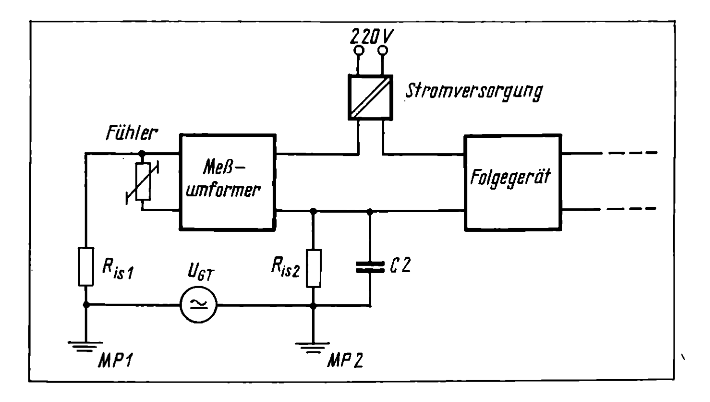


Bild 1. Tiefpaßfilter zur Dämpfung von Gegentakt-Störspannungen
a) RC-Kettenglied (Meßumformer EMU)
b) RC-Glied (Meßumformer KMU)

Bild 2. Wirkung einer Gleichtaktquelle U_{GT} auf einen Meßkreis (Ersatzschaltung)



[1]) Mitteilung aus dem VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert" Magdeburg.

gen. Aus Untersuchungen im Anlagenbau sind Frequenzen von 50 HZ bis etwa 5 kHz bekannt, wobei die maximalen Amplituden bei 50 Hz, 100 Hz und weiter bis 500 Hz auftreten. Daneben sind auch Gleichgrößen möglich.

Die Isolationswiderstände $R_{is\,1}$ und $R_{is\,2}//X_{c\,2}$ sind hochohmige Widerstände zwischen der Gleichtaktspannung und dem Fühler bzw. der Ausgangsleitung des Meßumformers.

Der Widerstand $R_{is\,1}$ ist ein Übergangswiderstand zwischen dem Fühler und der Anlagenerde, wobei seine Größe von der Installation des Fühlers entscheidend abhängt. Real haben die Fühler bei den gegenwärtigen Installationsmeßmethoden Isolationswiderstände zwischen 100 Ω und 10 kΩ bei Frequenzen von 50 Hz; bei Berechnungen wird häufig mit $R_{is\,1} = 1\,k\Omega$ gearbeitet. Der Widerstand $R_{is\,2}//X_{c\,2}$ stellt den Isolationswiderstand des Kabels gegen Anlagenerde MP 2 dar. Dieser Widerstand beträgt etwa 200 ... 10000 M Ω/km. Ihm parallel geschaltet ist die Betriebskapazität des Kabels, dessen Wert zwischen 42 und 160 nF/km liegt. Mit $f = 50$ Hz ergibt sich beispielsweise für MYY (Anwendungshäufigkeit im Anlagenbau 40 ... 60%) mit $R = 200$ M Ω/km und $C = 120$ nF/km bei einer Leitungslänge von $l = 100$ m ein Widerstand $R_{is\,2} \approx 2{,}5$ MΩ. Damit wird deutlich, daß der Widerstand $R_{is\,2}$ wesentlich größer als $R_{is\,1}$ ist.

Die Unterdrückung von Gleichtaktspannungen ist überall dort von Interesse, wo natürliche Eingangssignale verarbeitet werden müssen. Der Wertebereich dieser Eingangssignale wird für einige wesentliche Prozeßgrößen in der Tafel angegeben.

Bei größeren Eingangssignalen (Spannungen von 10 V, Ströme von 20 mA nach ursamat) ist der Einfluß von Gleichtaktstörungen so gering, daß keine besonderen Maßnahmen zur Fehlerreduzierung notwendig sind, zumal dann auch der Widerstand $R_{is\,1}$ in seinem Wert genauso groß wird wie $R_{is\,2}//X_{c\,2}$.

Bedingt durch die Hochohmigkeit der Widerstände $R_{is\,1}$ und $R_{is\,2}//X_{c\,2}$ zeigt die Gleichtaktquelle das Verhalten einer Stromquelle, wenn man davon ausgeht, daß der Innenwiderstand des Meßumformers zwischen Ein- und Ausgang kleiner als $R_{is\,1}$ und $R_{is\,2}//X_{c\,2}$ ist.

Der fließende Strom ist dann

$$I_{GT} = \frac{U_{GT}}{R_{is\,1} + R_{is\,2}//X_{c\,2} + R_{MU}}. \tag{1}$$

R_{MU} Längswiderstand des Meßumformers

Um die Wirkung des Gleichtaktstörstromes zu verstehen, wollen wir uns der Eingangsschaltung im Bild 3 zuwenden.

Die Eingangsschaltung nach Bild 3 ist eine kompensierte Wheatstonesche Brücke. Über den Kompensationswiderstand fließt ein Strom, der so groß ist, daß die Differenz Eingangsspannung des Verstärkers bei Aussteuerung innerhalb des Meßbereiches jederzeit Null wird (idealer Verstärker). Für den Strom gilt:

$$I_a = \frac{1}{R_k}[I_1 R_2 - I_2(R_4 + R_k) - U_{TE}] \tag{2}$$

mit U_{TE} als Spannung des Thermoelementes unter Voraussetzung, daß $I_{a2} = I_a$, d. h. $I_{a1} = 0$ ist.

Der Strom I_{GT} fließt als Konstantstrom in die Meßbrücke und überlagert sich dort dem von der Quelle Q getriebenen Strom $I = I_1 + I_2$. Wegen des hohen Eingangswiderstandes des Verstärkers ($R_e \geqq 10$ MΩ bei Kompensation) wird

$$I_{GT\,2} \ll I_{GT\,1} \tag{3}$$

gelten.

I_{GT1} teilt sich auf, so daß ein Teil über R_2 fließt und ein Teil über die Summe der Widerstände R_1, R_3, R_4, R_K. Der Verstärker verarbeitet als Meßgröße die Spannung $\varphi_A - \varphi_B$. Für Gl. (2) ergibt sich unter Beachtung von

$$I_2 = I_1 \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4 + R_K} \tag{4}$$

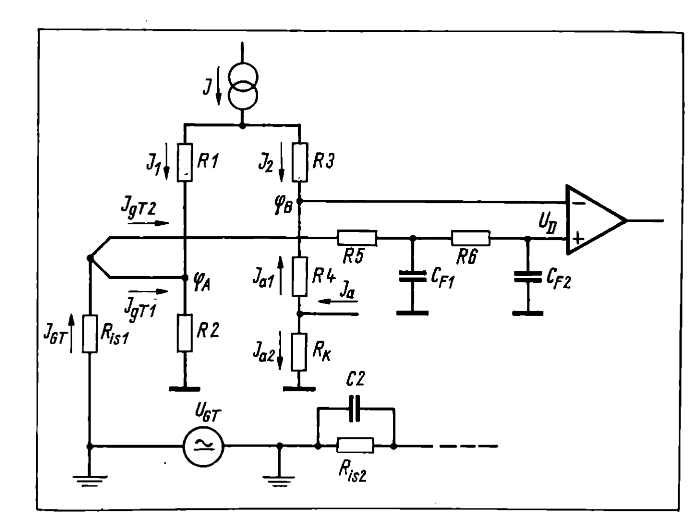


Bild 3. Eingangsschaltung zur Verarbeitung natürlicher Signale

Tafel. Überblick zu Eingangssignalen für die betrachteten Geräte

Lfd. Nr.	Physikalische Größe	Werteumfang	Fühler	Ausgangssignale des Fühlers	Häufigkeit²)
1	Temperatur	−220 °C ...¹) +550 °C	Widerstandsthermometer (z. B. Pt 100)	10,4 ... 297 Ω	41 %
		−50 °C ... +1600 °C	Thermoelemente (Fe Konstantan NiC-Ni, Pt Rh Pt)	−2,45 mV ... 48,85 mV	30 %
		+400 °C ... +2000 °C	Gesamtstrahlungspyrometer	0,29 mV ... 15 mV	
		+450 °C ... −2000 °C	Fotoelektrisches Pyrometer	−³)	
2	Widerstand	mechanische Verstellung max. 335°	Widerstandsferngeber	0 ... 200 Ω	10 %
3	Spannung		Spannungsquelle	< 1 mV ...⁴) 10 V	17 %
4	Gas- und Stoffkonzentration		Analysenmeßmeßzelle	10 µA ... ⁵) 1 mA 1 mV ... 20 mV	2 %
5	Strom		–	0 ... 20 mA⁶)	

¹) Nach DIN werden Widerstandsthermometer (Pt 100) bereits bis 850 °C eingesetzt. Diese Temperatur entspricht etwa einem Widerstand von 420 Ω.

²) Die angegebenen Häufigkeiten beziehen sich auf eine Kombination der Meßfühler mit Meßumformern. Für das Gesamtstrahlungspyrometer sind keine exakten Daten bekannt. Die geforderten Stückzahlen sind im Vergleich zur betrachteten Gesamtstückzahl vernachlässigbar.

³) Beim fotoelektrischen Pyrometer wird eine Fotodiode zur Lichtmessung benutzt. Dieser Meßwert wird nach dem Kompensationsprinzip mit einem eingebauten Normal zum Vergleich gebracht. Aus diesem Grund läßt sich kein Ausgangssignal des Fühlers angeben (abhängig von den Daten der Dioden und der Schaltungsauslegung).

⁴) Angegeben wurde die Meßspanne (10 V ist ursamat-Einheitssignal; größere Eingangsspannungen werden über gesonderte Spannungsteiler auf Werte ≦ 10 V gebracht).

⁵) Angenäherte Wertangabe.

⁶) Angegeben wurde der Wertebereich. Möglich sind auch die Einheitssignale 4 ... 20 mA und 0 ... 5 mA. Diese Signale werden von vorgeschalteten Geräten (Meßumformer, Potentialtrenner, Regler) zwecks Weiterverarbeitung zur Verfügung gestellt.

$$I_a = \frac{I_1}{R_K}\left[R_2 - (R_4 + R_K)\frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4 + R_K}\right] - \frac{U_{TE}}{R_K}. \tag{5}$$

Bei Überlagerung des Stromes I_{GT1} folgt

$$I_a + \Delta I_a = \frac{I_1 + I_{GT1}}{R_K}\left[R_2 - (R_4 + R_K)\frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4 + R_K}\right] - \frac{U_{TE}}{R_K}. \tag{6}$$

Aus Gl. (6) ist zu ersehen, daß der Strom ΔI_a nur dann zu Null und damit unwirksam wird, wenn

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4 + R_K} \tag{7}$$

erfüllt ist. Diese Bedingung ist jedoch nicht erfüllbar wegen:

- der Aussteuerung bei Widerstandsmessung, wo z. B. R_2 durch einen Fühler vom Typ Pt100 ersetzt wird
- der Nullpunktunterdrückung bei Spannungsmessung mit Hilfe eines Thermoelements (s. Bild 3).

Der Einfluß des Gleichtaktstromes auf den Ausgangsstrom I_a wächst mit der Größe der Aussteuerung bzw. der Nullpunktunterdrückung. Das Wirksamwerden des Stromes I_{GT1}, das verursacht wird durch die unsymmetrische Eingangsschaltung, wird in der Literatur auch unter dem Begriff der Gleichtakt-Gegentakt-Konversion geführt.

Aus der Unerfüllbarkeit der Bedingung aus Gl. (7) im Meßprozeß folgt als Konsequenz die Durchführung der galvanischen Trennung zur Minimierung des Einflusses von Störgrößen in der Prozeßmeßtechnik.

1.2. *Explosionsschutz in Automatisierungsanlagen*

Nach [4] ist „Eigensicherheit eine Schutzart, bei der die Stromkreise elektrisch so ausgelegt sind, daß bei normalem Betrieb und bei Beschädigung wie Kurzschluß, Unterbrechung, entstehende Funken und Erwärmungen nach dem in TGL 19491/10 festgelegten Prüfverfahren unfähig sind, die Zündung eines explosiblen Gas- oder Dampf-Luft-Gemisches zu bewirken".

Die Eigensicherheit wird erreicht durch Begrenzung der elektrischen Verhältnisse (Strom, Spannung, Leistung) und durch spezielle konstruktive Maßnahmen (Festlegung von Luft- und Kriechstrecken). Sie ist eine Art der Gewährleistung von Explosionsschutz in elektrischen Anlagen, der sich ausschließlich auf elektrische und konstruktive Maßnahmen beschränkt. Der Vorteil der Schutzart Eigensicherheit gegenüber den Schutzarten

- druckfeste Kapselung
- Ölkapselung
- Sandkapselung
- Fremdbelüftung

und anderen Schutzarten besteht im Wegfall von zusätzlichen Geräten und Installationsleistungen beim Einsatz in der Prozeßmeßtechnik.

In [5] wird auf die Untergliederung der Ex-Schutzarten näher eingegangen. Zur Einführung in die Problematik des Ex-Schutzes sind weiterhin [6] bis [8] zu empfehlen.

Im folgenden wollen wir uns mit schaltungstechnischen Aspekten bei der Realisierung von speziellen Geräten für die Trennung eigensicherer und nicht eigensicherer Kreise beschäftigen.

1.2.1. Explosionsschutz durch Sicherheitsbarrieren

Sicherheitsbarrieren sind passive Vierpole, deren Aufgabe in der Leistungsbegrenzung zu übertragender elektrischer Signale besteht. Bild 4 zeigt ihren prinzipiellen Aufbau.

Die Leistungsbegrenzung durch die Sicherheitsbarriere (auch Zenerbarriere oder Z-Dioden-Barriere genannt) erfolgt mit Hilfe einer Strom- und Spannungsbegrenzung. Der Strom I_a wird durch den Widerstand R_3 begrenzt, und die Spannung durch die Z-Diode D_2. D_1 und R_2 sind aus Sicherheitsgründen redundant angeordnet. Manchmal entfällt der Widerstand R_1. Die Sicherung R_S ist zum Schutz der Diode D_1 vor zu hohen Spannungen. Für den Kurzschlußstrom I_K gilt:

$$I_K = \frac{U_{D2}}{R_3} \tag{8}$$

und für die Leerlaufspannung

$$U_1 = U_{D2}\,, \tag{9}$$

wobei die übertragene Leistung

$$P = U_2 \cdot I_a = (U_{D2} - I_a R_3)\, I_a \tag{10}$$

wird.

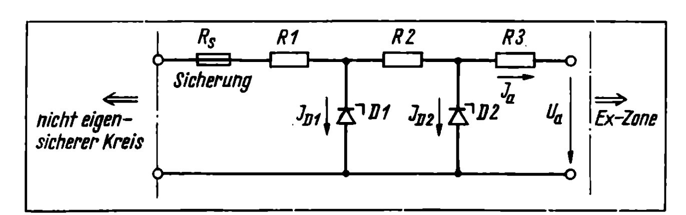


Bild 4. Sicherheitsbarriere

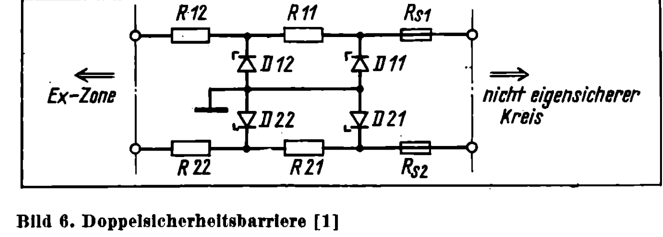


Bild 6. Doppelsicherheitsbarriere [1]

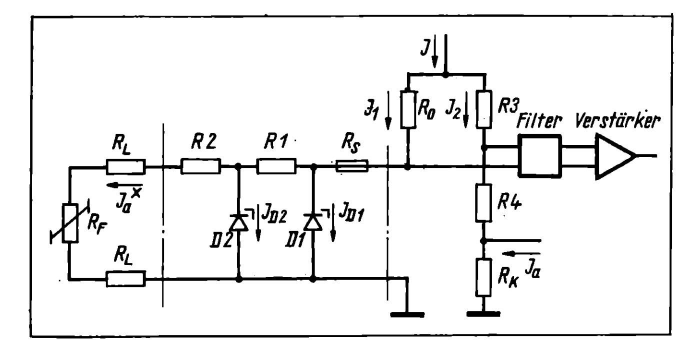


Bild 5. Anordnung einer Sicherheitsbarriere in einem Meßkreis mit Widerstandsfühler

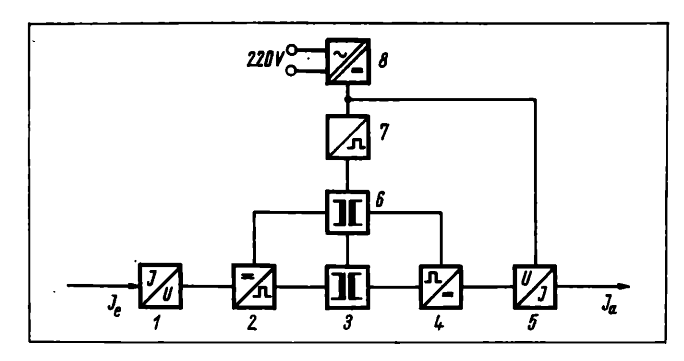


Bild 7. Signalflußbild eines Potentialtrenners mit Übertragern

Diese Leistung muß kleiner sein als ein zur Funkenbildung eines Gas- bzw. Dampf-Luftgemisches notwendiger Wert. Zündfähige Funken können sich an Induktivitäten oder Kapazitäten durch Energiespeicherung bilden. Dabei sind die Beziehungen

$$W_C = \frac{1}{2} CU^2 \quad (11)$$

$$W_L = \frac{1}{2} LI^2 \quad (12)$$

zu beachten. Die Kapazitätswerte werden durch den Schaltungsaufbau des nicht eigensicheren Meßgerätes und die Kapazitäten der Zuleitungen (s. Tafel) bestimmt, die Induktivitätswerte fast ausschließlich durch die Geräte (z. B. durch enthaltene Anzeigeinstrumente). Bedingung für den Einsatz einer Sicherheitsbarriere nach Bild 4 ist, daß eine Potentialausgleichsleitung zwischen dem Fußpunkt der Z-Dioden und dem Aufstellungsort der Meß- und Stelleinrichtung installiert wird, und daß weiterhin die leitfähigen Anlagenteile durch Potentialausgleichsleitungen miteinander verbunden werden.

Bei der Anordnung von Sicherheitsbarrieren zwischen Fühler und Meßgerät ergibt sich, bedingt durch Eigenschaften der Barriere, ein meßtechnisches Problem, wenn die Fühler natürliche Ausgangssignale entsprechend der Tafel liefern (Bild 5).

Durch die Widerstände R_S, R_1, R_2 wird das am Fühler entstehende Meßsignal $I_a R_F$ spannungsmäßig heruntergeteilt. Dadurch werden zur Einhaltung der Auflösung, im Vergleich mit einem Gerät ohne Sicherheitsbarriere, höhere Anforderungen an den nachfolgenden Verstärker gestellt.

Außerdem sind die Bauelemente der Barriere bei der Bestimmung des Temperaturzusatzfehlers zu berücksichtigen. Häufig wird deshalb von den Anwendern der Sicherheitsbarrieren ein Längswiderstand $< 200\ \Omega$ gefordert.

Sollen die Leitungen im störungsfreien Zustand endpotentialfrei geführt werden, müssen beide Leitungen mit Barrieren abgesichert werden. Bild 6 zeigt eine solche Doppelbarriere für erdfreie Leitungsführung.

Die Sicherheitsbarriere ist eine Schaltungsanordnung zur Strom-, Spannungs- und damit auch Leistungsbegrenzung, die keine galvanische Trennung bewirkt. Sie wird für einfache Aufgaben im Explosionsschutz verwendet.

1.2.2. Explosionsschutz durch Potentialtrenner

Im Gegensatz zur Sicherheitsbarriere ist das Wirkprinzip des Potentialtrenners auf eine echte galvanische Trennung gerichtet. Vom Prinzip besteht beim Verfahren große Ähnlichkeit mit der Schaltungsgruppe der Transverter. Im Bild 7 wird das Signalflußbild eines Potentialtrenners dargestellt [10].

Die Eingangsgröße ist ein Gleichstrom I_e. Im Strom/Spannungs-Wandler *1* wird dieser Strom in eine Spannung umgewandelt. Das geschieht häufig durch passive Wandlung. Die Baugruppen *2* und *4* stellen ein Modulator und einen Demodulator dar. Sie bilden zusammen mit den Übertragern *3* und *6* eine Brückenanordnung. Der Übertrager *3* dient zur galvanischen Trennung des Signalweges, und der Übertrager *6* zur galvanischen Trennung des Steuerweges zwischen Generator *7* und Modulator *2* sowie Demodulator *4*. Der Spannungs/Strom-Wandler *5* sorgt schließlich für eine Signalverstärkung (0,25 ... 4) und für die Bereitstellung von Stromsignalen nach ursamat-Norm. Das Netzteil *8* ist nach den Bedingungen der Eigensicherheit aufgebaut. Das geschilderte Verfahren ist das für die Potentialtrennung am häufigsten verwendete. Daneben besteht die Möglichkeit, auch andere Verfahren einzusetzen [11]. Ausgehend vom Trennelement gibt es folgende Varianten:

- Einsatz von Bauelementen, die auf Grund ihres Wirkprinzips generell eine galvanische Trennung bewirken:
  - magnetische Verstärker
  - Kondensatoren
  - MOS-Feldeffekttransistoren.

  Da mit diesen Bauelementen entweder keine exakte galvanische Trennung erzielt werden kann (MOS-Feldeffekttransistoren) oder die Genauigkeitsforderungen entsprechend dem Weltstand bei der Gerätegruppe der Potentialtrenner nicht realisiert werden können, gibt es hierzu keine Gerätevarianten auf dem Markt.

- Einsatz von Koppelelementen mit nichtelektrischem Wirkungsmechanismus:
  - thermische Koppler
  - optische Koppler.

  Insbesondere die Verfahren mit Optokopplern haben Zukunft, da der verfahrenstechnische Aufwand bei Anwendung eines PBM-Verfahrens (aus Gründen der proportionalen Signalübertragung) vergleichbar mit dem Aufwand für einen Potentialtrenner mit Übertragern, das Bauelement selbst aber kostengünstiger als ein Übertrager ist.

  Nachteilig ist jedoch, daß primärseitig ein großer Strom (10... 20 mA) zum Betreiben der Lumineszenzdiode notwendig ist, während die Übertrager eingangsseitig praktisch verlustleistungsarm arbeiten. Dadurch macht sich eine weitere Trennstrecke zur Übertragung der Hilfsenergie für den signaltrennenden Koppler notwendig. Bedingt durch diesen Sachverhalt ist es auch nicht möglich, Trennverstärker mit Optokoppler für Live-zero-Betrieb in Zweileitertechnik aufzubauen, da hier maximal 4 mA als Speisestrom zur Verfügung stehen.

2. Anwendungen von Sicherheitsbarrieren und galvanischen Trennstufen in der Automatisierungstechnik

2.1. *Galvanische Trennstufen zum Unterdrücken von Gleichtaktstörungen*

Im Abschn. 1.1 wurde auf die Wirkung von Gleichtaktstörungen bei Automatisierungsgeräten näher eingegangen. Nachdem das Problem der Störbeeinflussung in Anlagen als Grund für teilweise unzulässig hohe Fehler bei Geräten ermittelt war, gab es mehrere Wege zur Beseitigung dieser Fehler [12].

Wie schon nachgewiesen, gibt es gebrauchswertbestimmte Randbedingungen für die Dimensionierung von Brückenschaltungen mit natürlichen Eingangssignalen, die es nicht ermöglichen, eine Brückenschaltung symmetrisch auszulegen und damit Gleichtaktfehler zu minimieren.

So wuchs die Erkenntnis, daß man Gleichtaktstörspannungen wirksam nur durch galvanische Trennung begegnen kann. Als erstes wurden Potentialtrenner räumlich direkt neben Meßumformern oder anderen Geräten angeordnet. Wesentlich ist dabei eine kurze Leitungsführung zwischen den Geräten, da die Größe des Isolationswiderstandes bekanntlich um so niedrigere Werte annimmt, je kürzer die Leitungen sind. Von der Anordnung der beiden selbständigen Geräte nebeneinander bis zur Schaffung einer konstruktiven Einheit aus beiden Geräten — den sogenannten Trennmeßumformern oder CMR-Meßumformern — war dann nur ein formaler Schritt.

Im Bild 8 ist das Prinzip eines Trennmeßumformers zu erkennen. Bei Gleichtaktstörgrößen am Eingang kommt es wegen der vorhandenen Unsymmetrie der Eingangsschaltung zu einer Gleichtakt-Gegentakt-Konversion, wodurch ein Meßfehler entsteht. Der Gedanke zur Verwendung einer galvanischen Trennstufe geht davon aus, daß nur dann ein Einfluß der Störspannungen vorhanden sein kann, wenn der Strom I_{GT} fließt. Durch die galvanische Trennstufe wird der Stromfluß des Störstromes durch den Meßumformer unterbunden. Die Größe der Gleich-

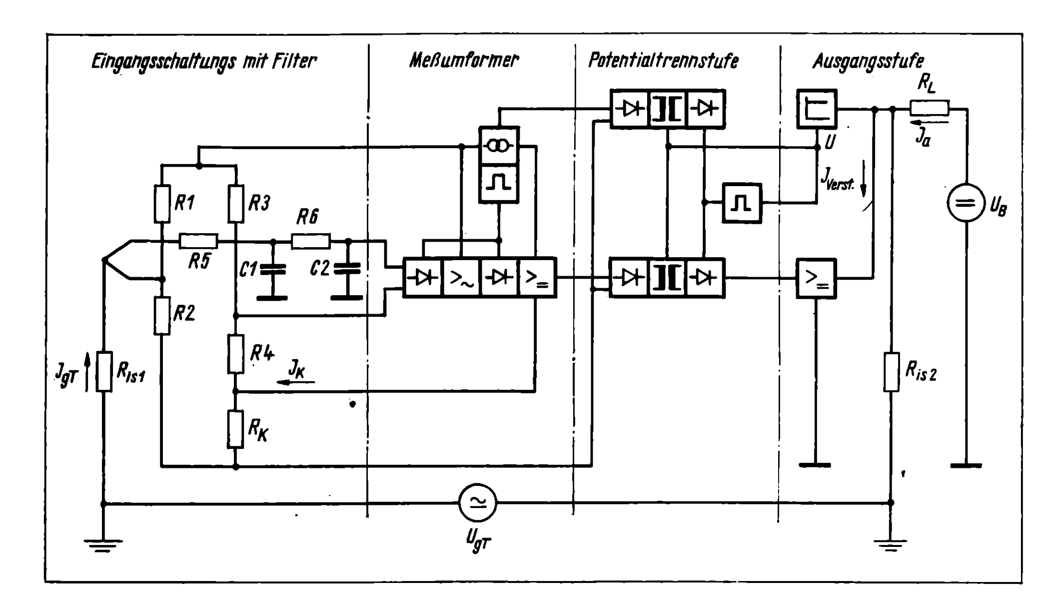


Bild 8. Signalflußbild eines Trennmeßumformers [13] (Live-zero-Variante in Zweileitertechnik)

taktunterdrückung hängt nur noch vom Verhältnis des Unsymmetrie-Widerstandes zur Durchgriffskapazität der Trennübertrager ab. International gibt es bislang hierfür noch keine Normierungsgrößen.

Beispiel:

$C_d = 100 \text{ pF} \quad (X_{C_d} \approx 32 \text{ M}\Omega \text{ bei } f = 50 \text{ Hz})$

$R_u = 2 \text{ k}\Omega$

$$V_{GT} = \frac{R_U}{X_{cd}} = \frac{2 \text{ k}\Omega}{32 \text{ M}\Omega} = \frac{1}{1{,}6 \cdot 10^4} \mathrel{\hat{=}} 84 \text{ dB} .$$

Da Signal und Störgröße eingangsseitig noch durch das Gegentaktfilter (C_1, C_2, R_5, R_6 im Bild 8) gedämpft werden, muß dessen Wirkung berücksichtigt werden. Meist werden die Eingangsfilter zur Dämpfung der Gleichtakt- und Gegentaktstörungen für 50 dB ausgelegt. Damit folgt für unser Beispiel:

$CMRR = V_{GT} + V_{Filter}$

$CMRR = 84 \text{ dB} + 50 \text{ dB} = 134 \text{ dB}.$

Sowohl Hersteller als auch Anwender von elektrischen Meßumformern orientieren immer mehr auf Meßumformer mit galvanischer Trennung, um problemlos und genau messen zu können. Wie am Weltstand zu erkennen ist, gilt das besonders für Geräte mittlerer und hoher Gebrauchswerte.

2.2. *Einsatz von Potentialtrennern zur Verhinderung von Erdschleifenbildungen*

Insbesondere bei langen Wegen zwischen Informationsgewinnung und Informationsverarbeitung kommt es zur Bildung von Erdschleifen. Hierfür gilt ebenfalls Bild 2, und die Wirkung auf den Informationsgewinnungsprozeß ist gleich der bei Gleichtaktstörung. Anstelle der Gleichtaktspannung tritt hier z. B. die Versorgungsspannung als treibende EMK auf. Die Erdschleife stellt dann einen Nebenschluß zum Meßumformer her. Auf Grund der kleinen Ströme in der Meßbrücke (meist kleiner als 2 mA) spielen schon Störströme eine Rolle, die um 3 Größenordnungen darunter liegen.

Beispiel:

Brückenstrom 2 mA

Fehler durch Störstrom 1 ‰ ($\mathrel{\hat{=}} 2\ \mu$A)

Versorgungsspannung $U_B = 30$ V

Für den Erdschleifenwiderstand folgt:

$$R_s = \sum_{\nu=1}^{3} R_{is_\nu} = \frac{U_B}{I_s} = \frac{30 \text{ V}}{2\,\mu\text{A}} = 15 \text{ M}\Omega .$$

Im Schleifenwiderstand sind als Anteile enthalten (s. Bild 9)

- Isolationswiderstand $R_{is\,1}$
- Isolationswiderstand $R_{is\,2}$
- Erdübergangswiderstand $R_{is\,3}$.

Die Störeinflüsse durch Erdschleifenbildung lassen sich durch Meßumformer mit interner galvanischer Trennung klein halten. Hier gilt das über die Unterdrückung von Gleichtaktstörungen Gesagte.

Viele Projektierungskonzepte für Warten sind aus Wirtschaftlichkeitsgründen auf der sogenannten Nullschienentechnik auf-

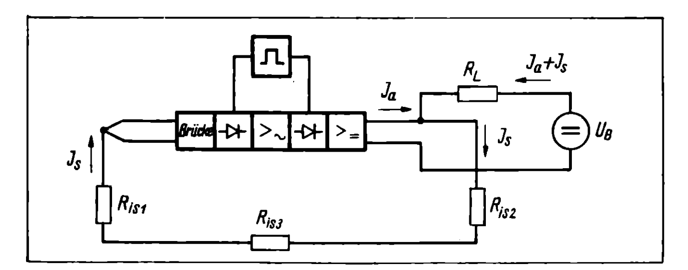
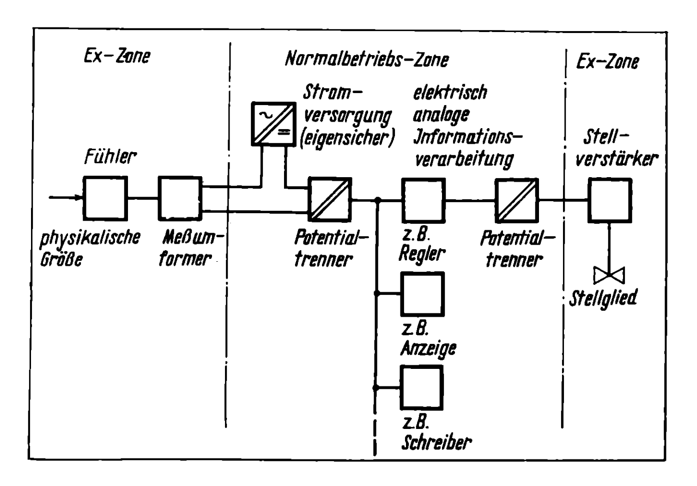


Bild 9. Ersatzschaltbild zur Erdschleifenbildung

Bild 10. Ex-Schutz-Konzept mit Potentialtrennern



gebaut. Durch Verbindung einer Vielzahl von Wartengeräten untereinander und mit Feldgeräten, die an unterschiedlichen Orten im Prozeß angeordnet sind, ist natürlich die Gefahr einer Potentialverschleppung und gegenseitigen Störbeeinflussung der Geräte gegeben. Deshalb ist die Forderung der Anwender von Automatisierungsgeräten nach

- Entkopplung der Geräte untereinander
- galvanischer Trennung bei Feld- und/oder Wartengeräten berechtigt.

2.3. *Explosionsschutz durch galvanische Trennung*

Für die Realisierung der Ex-Schutzart Eigensicherheit gibt es zwei Baugruppen:

- Sicherheitsbarrieren
- Potentialtrennstufen.

Der Unterschied zwischen diesen Baugruppen besteht darin, daß die Sicherheitsbarrieren gegenüber den Potentialtrennstufen keine galvanische Trennung bewirken, sondern nur durch die Begrenzung von Strom, Spannung und Leistung dafür sorgen, daß die zulässigen Grenzwerte für Eigensicherheit nach [4] eingehalten werden. Wegen der galvanischen Trennung bei Potentialtrennstufen haben diese gegenüber Sicherheitsbarrieren die höhere Wertigkeit bei der Erzielung des Ex-Schutzes von Anlagen und haben funktionsbedingt die in den Abschnitten 2.1 und 2.2 angegebenen Gebrauchswerte. Im Bild 10 wird ein häufig benutztes Konzept zur Erzielung des Ex-Schutzes mit Hilfe von Potentialtrennstufen angegeben.

Natürlich läßt sich die Ex-Schutzart Eigensicherheit auch durch Sicherheitsbarrieren erreichen. Man hat hierbei den Vorteil der geringeren Kosten, und es ist keine zusätzliche Versorgungsenergie für diese Baugruppe notwendig. Daneben ergeben sich aber die Nachteile:

- Reduzierung des Meßeffektes durch die Längswiderstände der Barriere
- Einfluß der Barriere auf Zusatzfehler (z. B. TK-Wert, Nullpunktverschiebung)
- hohe Leerlaufspannung bei Verwendung einer Sicherheitsbarriere ohne Bürdenwandler (Leerlaufspannung ist umgekehrt proportional zur zulässigen Leitungslänge).

Weiterhin ist zu bemerken, daß die im Bild 10 innerhalb der Ex-Zone befindlichen Geräte (Meßumformer, Stellverstärker, Stellglied) den Eigensicherheitsbestimmungen genügen müssen. Beim Einsatz von Trennmeßumformern, die ja bereits eine Potentialtrennstufe beinhalten, ist zur Erzielung der Eigensicherheit trotzdem ein gesonderter Potentialtrenner oder eine Sicherheitsbarriere außerhalb der Ex-Zone erforderlich. Damit ist die Einhaltung der Grenzwerte beim Übergang von der Normalbetriebs- zur Ex-Zone gewährleistet.

Zusammenfassung

Der Beitrag befaßt sich mit Prinzipien und Anwendungen von galvanischen Trenngliedern und Sicherheitsbarrieren. Es konnte dabei festgestellt werden, daß sich die Einsatzbreite durch die im verstärkten Maß in Anlagen und Warten notwendig werdende Unterdrückung von Störspannungen vergrößert hat. Davon zeugt auch der in den letzten Jahren festgestellte Anstieg von eigensicheren Geräten im Verhältnis zur normalen Variante (je nach Gerätegruppe derzeit zwischen 15 und 20%) und die Forderung nach Geräten zur Informationsgewinnung mit interner galvanischer Trennung. Dieser Trend wird sich nach den durchgeführten Weltstandsanalysen weiter fortsetzen.

Literatur

[1] Brockhaus ABC Automatisierung. Leipzig: VEB F. A. Brockhaus-Verlag 1975.
[2] TGL 0-43710: Thermospannungen und Werkstoffe der Thermopaare.
[3] TGL 0-43760: Widerstandsthermometer.
[4] TGL 19491/06: Schlagwetter- und explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel (Eigensicherheit).
[5] *Schulz, P.:* Explosionsschutz in der Prozeßmeßtechnik. msr 20 (1977) H. 11, S. 620–622.
[6] *Schulz, P.:* Sicherheitsmaßnahmen in der Prozeßmeßtechnik. msr 18 ap (1975) H. 12, S. 276–278.
[7] *Schulz, P.:* Entwurf eigensicherer Geräte. msr 20 (1977) H. 3, S. 145–148.
[8] *Nottebohm, H.:* Explosionsschutz bei elektronischen Zweileiter-meßumformern. Regelungstechnische Praxis und Prozeß-Rechentechnik (1972) H. 3, S. 91–96.
[9] *Martens, J.:* Sicherheitsbarrieren. Regelungstechnische Praxis und Prozeß-Rechentechnik (1971) H. 6, S. 211–214.
[10] Bedienungsvorschrift zum Potentialtrenner PTS. VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert" Magdeburg 1977.
[11] *Barenthin, K.:* Möglichkeiten der Realisierung von Potentialtrennern. Forschungsbericht TH „Otto von Guericke" Magdeburg 1974.
[12] *Wolf, R.:* Einfluß der Schaltungsstruktur auf die Störspannungsunterdrückung bei elektrischen Meßumformern. msr 20 (1977) H. 12, S. 679–683.
[13] *Wolf, R.:* Meßumformer – Überblick und Tendenzen. msr 22 (1979) H. 6, S. 335–340; H. 7, S. 380–382.
[14] Prospekte der Firmen VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert" Magdeburg 1978; Hartmann & Braun Frankfurt 1978; Digitable Essen 1976.

msr 6864

VII. Fachtagung des FA 14 „Steuerungs- und Regelungstechnik"

Themen sind:

- Aufbau und Systemeigenschaften der Prozeßsteuerungen mit ursalog 4000
- Bauelemente und Baugruppen des ursalog 4000
- Realisierung der Grundverknüpfungsebene und der Funktionsverknüpfungsebene
- Anwendung der Katalogprojektierung
- Anlagenaufbau und erste Erfahrungen

27. September 1979

Museum für Deutsche Geschichte, Kinosaal, 108 Berlin. Unter den Linden

Veranstalter: FA 14, IS des Instituts für Elektro-Anlagen Berlin, BS des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin.

Anfragen sind zu richten an: Präsidium der Kammer der Technik, FV Elektrotechnik, 1086 Berlin, Clara-Zetkin-Str. 115–117, Tel. 2202531, App. 216 oder 218, Telex 0114841 techkammer.

Die Vorträge dieser Tagung sind in der Zeitschrift des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau (Der VEM-Elektro-Anlagenbau Heft 1/1979) veröffentlicht.

Dr.-Ing. *K. Laurich*, Dr.-Ing. *G. Müller* und Dipl.-Ing. *H. Wallau*, Magdeburg[1])

Automatisierungssystem für Kabelummantelungsanlagen

IA 5.6.2.0

0. Einleitung

Die Verwendung von Schaumpolyäthylen anstelle von Vollpolyäthylen bei der Produktion von Fernsprechkabeln führt zu erheblichen Materialeinsparungen. Die Technologie der Herstellung von Telefonadern mit Schaumpolyäthylen als Ummantelung erfordert jedoch die Anwendung von Mehrgrößenregelungen. Für die Zweigrößenregelstrecke mit Aderkapazität und -durchmesser als Regelgrößen wurde bereits ein Approximationsmodell angegeben [1]. Sie wurde als Regelstrecke mit dominierender Totzeit und stark unterschiedlichen Kopplungen zwischen den Hauptstrecken der Aderkapazität C und des Aderdurchmessers D charakterisiert.

In diesem Beitrag werden für die in P-kanonische Struktur als quantitatives mathematisches Modell im Frequenzbereich vorliegende Zweigrößenregelstrecke ein Automatisierungssystem zur Prozeßstabilisierung vorgestellt und Vorschläge zur weiteren Verbesserung des statischen und dynamischen Regelverhaltens unterbreitet.

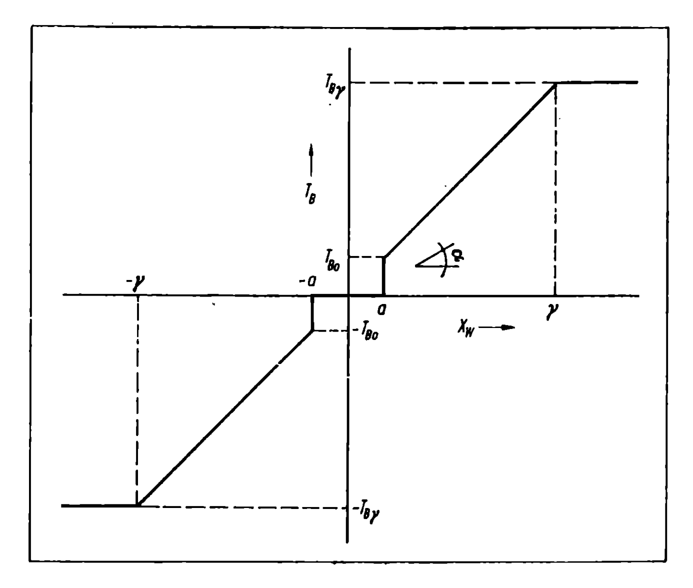


Bild 1. Statische Kennlinie des pulsbreitenmodulierten Reglers

a Ansprechschwelle; γ Wert der Regelabweichung, bei dem der PBM-Regler in die Sättigung geht; T_B Pulsbreite bei Sättigung (entspricht $T_{B\,max}$); T_{B0} Pulsbreite beim Schwellwert; $\tan\alpha = \frac{T_B}{x_w} = K_R$ – Übertragungsfaktor (Verstärkung) des PBM-Reglers im Arbeitsbereich

1. Automatisierungssystem mit pulsbreitenmodulierten Reglern

1.1. Systembeschreibung und Forderungen an das Entwurfsverfahren

Die Regelstrecke wird durch folgende Übertragungsfunktionen für die Haupt- und Koppelstrecken in der P-kanonischen Struktur beschrieben [1]:

$$P_{11} = \frac{\Delta C(p)}{\Delta s(p)} = -10 \cdot e^{-2,8\,p}\,\frac{\text{pF}}{\text{m}},$$

$$P_{22} = \frac{\Delta D(p)}{\Delta n(p)} = \frac{4}{1 + 1,5\,p} \cdot e^{-3,6\,p}\,\frac{\mu\text{m}}{1/\text{min}},$$

$$P_{12} = \frac{\Delta C(p)}{\Delta n(p)} = \frac{-0,5}{1 + 1,5\,p}\,e^{-2,8\,p}\,\frac{\text{pF}}{1/\text{min}},$$

$$P_{21} = \frac{\Delta D(p)}{\Delta s(p)} = 15 \cdot e^{-3,6\,p}\,\frac{\mu\text{m}}{\text{m}}.$$

Diese Beschreibungsform war möglich für den Fall der Beschränkung auf ein bestimmtes Aderprogramm (z. B. Drahtdurchmesser $d = 0,5$ mm, Aderdurchmesser $D = 1,0$ mm, Drahtgeschwindigkeit $v = 1500$ m/min, Verschäumungsgrad[2]) $\varkappa \approx 0,5$, $\varepsilon_{\text{rel PE}} = 2,28$, $C \leqq 140$ pF/m) und unter Beachtung kleiner dynamischer Abweichungen um den jeweiligen Arbeitspunkt, um die nichtlinearen Einflüsse einiger Übertragungsglieder auszuschließen.

Bei Eingrößenregelstrecken mit dominierender Totzeit haben sich in der Praxis Abtastregler (Impulsregler) verschiedener Funktions- und Bauprinzipien gut bewährt. Dazu zählen Regler mit Pulsbreitenmodulation (PBM). Da in der Literatur zur Theorie der nichtlinearen Abtastsysteme kein geschlossenes Entwurfsverfahren für Zwei- oder Mehrgrößenregelsysteme bekannt ist, wird hier versucht, durch Anwendung eines möglichst praktikablen Entwurfsverfahrens für Eingrößenregelsysteme Hinweise für die Einstellung der beiden PBM-Regler zu erhalten. Dabei wird die Notwendigkeit der Herbeiführung ingenieurmäßiger Kompromisse deutlich. Die ermittelten Parameter der Impulsregler sind dann bei der Inbetriebnahme der Drahtummantelungsanlage den optimalen Einstellwerten schrittweise anzunähern.

An das Entwurfsverfahren für ein Automatisierungssystem mit pulsbreitenmodulierten Reglern werden folgende Forderungen gestellt:

- ingenieurmäßige Anwendbarkeit z. B. durch Hinzuziehung von grafoanalytischen Hilfsmitteln, um den aufwendigen rechnerischen Entwurf zu vereinfachen
- das Entwurfsverfahren soll insbesondere auf mathematischen Approximationsmodellen der Regelstrecke in P-kanonischer Struktur aufbauen
- das entworfene Automatisierungssystem muß die geforderte statische und dynamische Regelgüte gewährleisten
- die Regler sollen eine genügend große Anzahl Freiheitsgrade haben
- Strukturveränderungen (z. B. durch Einführung von Entkopplungsgliedern) müssen möglich sein.

1.2. Beschreibung des Entwurfsverfahrens

Der Entwurf des Zweigrößenregelsystems unter Verwendung von PBM-Reglern geschieht wie folgt (Bild 1):

Die Kennwerte Abtastperiode T_0 und Reglerverstärkung K_{RC} bzw. K_{RD} werden getrennt für den Hauptregler der Aderkapazität C und des Aderdurchmessers D bestimmt. Hierzu wird das in [2] beschriebene grafoanalytische Verfahren herangezogen, das

---

[1]) Mitteilung aus der TH „Otto von Guericke“ Magdeburg, Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik, und dem Forschungsbereich des VEB Schwermaschinenbaukombinat „Ernst Thälmann“ Magdeburg.

[2]) Der Verschäumungsgrad $\varkappa$ drückt das Verhältnis des Volumenanteils der Luft zum Gesamtvolumen der Isolierung aus, $\varkappa = V_L/V_{GI}$.

in der Entwurfs- und Projektierungspraxis seit Jahren bei Eingrößenregelungen mit PBM-Reglern mit Erfolg angewendet wird, und dessen Ergebnisse mit denen sehr aufwendiger Entwurfsverfahren durchaus vergleichbar sind, zumal im Projektierungsstadium die Streckenkennwerte nur näherungsweise bekannt sind. Die so erhaltenen Reglerkennwerte beziehen sich auf die zugehörigen Hauptstrecken bei Vernachlässigung der technologisch bedingten Kopplungen zwischen Aderdurchmesser und Aderkapazität. Für die Zweigrößenregelung ergeben sich dabei um so bessere Werte, je stärker die Hauptregelstrecken durch Entkopplungsglieder autonomisiert werden.

Zur Berechnung der Abtastperiode T_0 wird die in der Praxis bewährte Gleichung benutzt

$$T_0 = T \operatorname{arcosh} (2 \cdot e^{T_t/T} - 1) , \tag{1}$$

worin T die Summenzeitkonstante der Hauptstrecke ist. Für sie gilt:

$$T = \sum_{i=1}^{n} T_i . \tag{2}$$

Die Berechnung der Entkopplungsnetzwerke zur Beseitigung der Streckenkopplungen P_{12} und P_{21} führt nur zu einer näherungsweisen Entkopplung, da pulsbreitenmodulierte Abtastregler nichtlinear sind.

Die Ansprechschwellen a_{RC} und a_{RD} der jeweiligen Regler (Dreipunktglieder) im geschlossenen Regelkreis legen den Bereich fest, in dem sich die Regelgröße ändern darf, ohne korrigiert zu werden. Die Höhen der Ansprechschwellen werden von der maximal zulässigen Regelabweichung unter Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens des geschlossenen Systems bei Stör- oder Stelleingriffen abgeleitet.

Exakte mathematische Einstellvorschriften lassen sich bei pulsbreitenmodulierten Abtastreglern mit Ansprechschwelle nicht formulieren. Als Alternative wurde ein Kompromiß zwischen der Einhaltung zulässiger Regelabweichungen und der Anzahl von Stellschritten angestrebt, die weder die Lebensdauer der Stelleinrichtungen übermäßig herabsetzt noch ein ständiges Pendeln der Regelgrößen bewirkt. Die Ansprechschwellen werden deshalb etwas größer als die Meßunsicherheiten bei der Erfassung der Regelabweichungen gewählt, um eine möglichst gute statische Regelgüte zu erreichen. Die Ansprechschwellen der Abtastregler werden aufeinander abgestimmt (zweckmäßig vor allem bei statisch entkoppelten Mehrgrößenregelsystemen).

2. Entwurf des Regelungssystems

2.1. *Übertragungsverhalten der Meßgeräte*

Für das Kapazitätsmeßgerät gilt die Übertragungsfunktion

$$F_{MC} = 2 \frac{\text{mA}}{\text{pF}}$$

und für das Durchmessermeßgerät

$$F_{MD} = \frac{0{,}025}{1 + 0{,}5 \cdot p} \frac{\text{V}}{\mu\text{m}} .$$

Dabei handelt es sich um angenäherte Übertragungsfunktionen.

2.2. *Übertragungsverhalten der Stellglieder*

Im Kapazitätsregelkreis wird eine Teleskopkühlrinne als Stelleinrichtung verwendet und im Durchmesserregelkreis die Drehzahl der Extruderschnecke [1]. Der Antrieb der Kühlrinne erfolgt mit einem Getriebemotor (220 V) über Zahnrad und Zahnstange. Der Motor wird vom Regler über Relais und Wendeschütz angesteuert. Für die Übertragungsfunktion dieser Stelleinrichtung gilt

$$F_{St\,C} = \frac{0{,}02}{p} \frac{\text{m}}{\text{s}} .$$

Die Extruderschnecke wird von einem thyristorgesteuerten Gleichstromnebenschlußmotor, dem ein Motorpotentiometer vorgeschaltet ist, angetrieben. Die approximierte Übertragungsfunktion der Stelleinrichtung lautet

$$F_{St\,D} = \frac{0{,}9}{p} \frac{1/\text{min}}{\text{s}} .$$

Auf der Basis der bereits vollständig beschriebenen Strecke und Regeleinrichtung mit Ausnahme der Parameter der Impulsregler besteht nun die Aufgabe darin, die Reglerkennwerte K_{RC}, K_{RD}, a_{RC}, a_{RD} sowie die Abtastperiode T_0 und die Entkopplungsglieder zu bestimmen.

2.3. *Kennwertbestimmung der PBM-Regler*

Alle Glieder des Zweigrößenregelsystems bis auf die Regler und die Entkopplungsnetzwerke sind gegeben. Die statische Kennlinie bipolarer PBM-Regler ist im Bild 1 dargestellt.

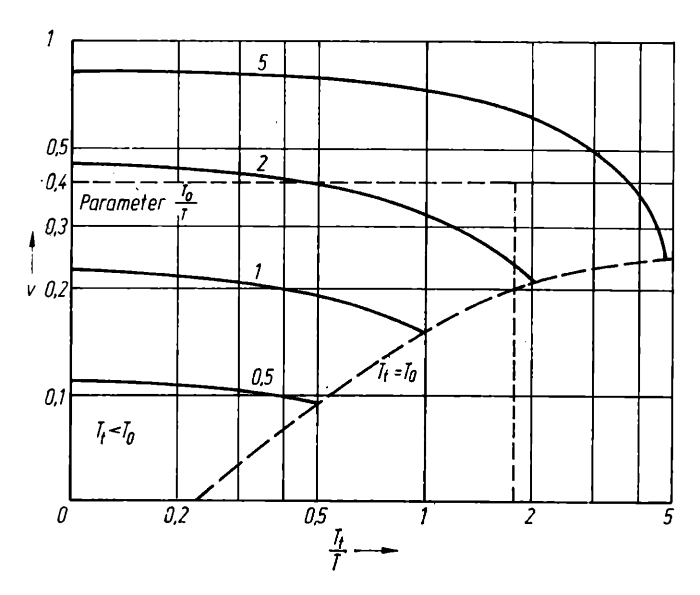
Das Ausgangssignal $y_R(t)$ des PBM-Reglers stellt eine Folge von Rechteckimpulsen dar, die zum jeweiligen Tastzeitpunkt kT_0 beginnen (für $|x_w| \geqq |a|$) und deren Impulsbreite T_B proportional $|x_w|$ der abgetasteten Regelabweichung im Tastzeitpunkt ist. Die Amplitude aller Impulse ist konstant, und das Vorzeichen der Regelabweichung wird mit übertragen. Damit ist:

$$T_B = \begin{cases} K_R |x_w| & \text{für} \quad |\gamma| \geqq |x_w| \geqq |a| , \\ 0 & \text{für} \quad |x_w| < |a| , \\ T_{B\gamma} & \text{für} \quad |x_w| > |\gamma| . \end{cases} \tag{3}$$

Für die Durchmesserregelstrecke beträgt die Summenzeitkonstante $T_D = T_{SD} + T_{MD} = 1{,}5 + 0{,}5 = 2$ s. Nach Gl. (1) wird eine Abtastperiode von $T_0 = 6{,}4$ s berechnet. Da die Summenzeitkonstante der Kapazitätstregelstrecke $T_C = 0$ ist, läßt sich hier nach Gl. (1) die Abtastperiode nicht berechnen. Nach der Bedingung $T_0 > T_t$ wird für beide PBM-Regler ein $T_0 = 6$ s gewählt.

Zur Bestimmung der Reglerverstärkungen werden die Bilder 2 und 3 benutzt [2]. Die Anwendung dieser Diagramme gewähr-

Bild 2. Zur Ermittlung der Reglerverstärkung [2]



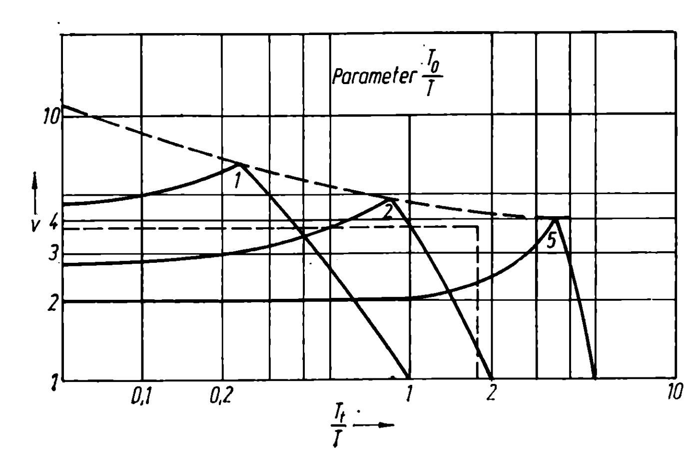


Bild 3. Stabilitätsgrenzkurven [2]

leistet bei aperiodischem Übergangsverlauf der Regelgröße Stabilität des jeweiligen Regelkreises mit PBM-Regler. Für den Regelkreis des Aderdurchmessers gilt $T_0/T_D = 3$ und $T_{tD/T_D} = 1{,}8$.

Für einen aperiodischen Übergangsverlauf der Regelgröße entnimmt man aus Bild 2 $V_{OD} \approx 0{,}4$ (V_{OD} ist zu vergleichen mit der Verstärkung V_0 eines aufgeschnittenen Regelkreises mit P-Verhalten). Mit

$$K_{RD} = \frac{V_{OD}}{K_{22} \cdot K_{MD} \cdot K_{St\,D}} \tag{4}$$

folgt für $K_{RD} = 4{,}44$ s/V.

Der Regelvorgang ist dann stabil, wenn bei den vorliegenden Verhältnissen T_{tD/T_D} und T_0/T_D das aus Bild 3 abgelesene $V_{D\,krit} > V_{OD}$ ist. Für den Durchmesserregelkreis (ohne Beachtung der Kopplungen) ergibt sich $V_{D\,krit} \approx 3{,}8$, und folglich ist der (einschleifige) Regelkreis stabil.

Für den Kapazitätsregler kann man nicht in gleicher Weise vorgehen, da in der Übertragungsfunktion der Hauptstrecke keine Verzögerungszeitkonstante auftritt. Ausgangspunkt für den Entwurf ist die anzustrebende Symmetrie der beiden Hauptregelkreise. Der Kapazitätsregler muß also in jedem Regelschritt eine zum Durchmesserregler gleichprozentige Änderung der Kapazität (im Verhältnis zur zulässigen Regelabweichung) bewirken. Der Durchmesserregler bewirkt mit jedem Stellschritt bei einer angenommenen Abweichung von 10 µm für $t \to \infty$ folgende Durchmesseränderung:

$$\Delta D = 10 \cdot 0{,}025 \cdot 4{,}44(-0{,}9) \cdot 4 = -4\ \mu\text{m}\,,$$

d. h., die Abweichung wird um 40% verringert.

Legt man diese 40% als Änderung je Stellschritt auch für den Kapazitätsregler zugrunde, so folgt für $t \to \infty$ bei einer sprungförmigen Änderung der Aderkapazität

$$C_{_|\text{-}} = 1\,\frac{\text{pF}}{\text{m}} \quad \text{und damit} \quad \Delta C = -0{,}4\,\frac{\text{pF}}{\text{m}}$$

$$K_{RC} = \frac{\Delta C}{C_{_|\text{-}} \cdot K_{MC} \cdot K_{St\,C} \cdot K_{11}}\,. \tag{5}$$

Die Verstärkung des Kapazitätsreglers ist $K_{RC} = 1{,}0\,\frac{\text{s}}{\text{mA}}$. Damit sind die Verstärkungen beider Hauptregler bestimmt. Die Gesamtübertragungsfunktionen der Regler und Stelleinrichtungen lauten:

$$R_{11}(p) = K_{RC} \cdot K_{St\,C} = \frac{0{,}02}{p}\,\frac{\text{m}}{\text{mA}}\,,$$

$$R_{22}(p) = K_{RD} \cdot K_{St\,D} = \frac{4}{p}\,\frac{1/\text{min}}{\text{V}}\,.$$

2.4. *Berechnung der Entkopplungsglieder*

Für das diskontinuierliche und durch die PBM nichtlineare Zweigrößenregelsystem läßt sich aus ingenieurtechnischen Erwägungen zeigen, daß dann einfache und gut realisierbare Entkopplungsglieder entstehen, wenn

- die Entkopplungsglieder vor den beiden Abtastreglern liegen
- über die Regelabweichungen bei P-kanonischer Strecke ein Entkopplungsnetzwerk in V-kanonischer Struktur entworfen wird
- die in den Streckenkopplungen evtl. vorhandenen Totzeiten etwa die gleiche Größe haben (und sich somit bei den Entkopplungsgliedern kürzen).

Mathematisch lösbar wird diese Entwurfsaufgabe mit vertretbarem Aufwand, wenn

- ein separates Abtastintervall statisch und dynamisch untersucht wird und
- das nichtlineare Übertragungsverhalten der PBM-Regler sogar als exakt linear anzusehen ist, wenn man jeweils
  - für den Zeitraum $t_n = T_0 + T_{Bi}$ $(i = C, D)$ für die Regler Verstärkungsfaktoren $K_{Ri} = T_{Bi/x_{wi}}$ $\left(\text{in } \frac{\text{s}}{\text{V}} \text{ bzw. } \frac{\text{s}}{\text{mA}}\right)$ angibt
  - für den Zeitraum $t_n > (nTo + T_{Bi})$ die Zweigrößenregelstrecke als nach den Stellgliedern aufgetrennte offene Kette betrachtet (selbst in einem Tastzyklus muß also der Regler in zwei nacheinander zu betrachtende, unterschiedliche Übertragungsfunktionen aufgeteilt werden).

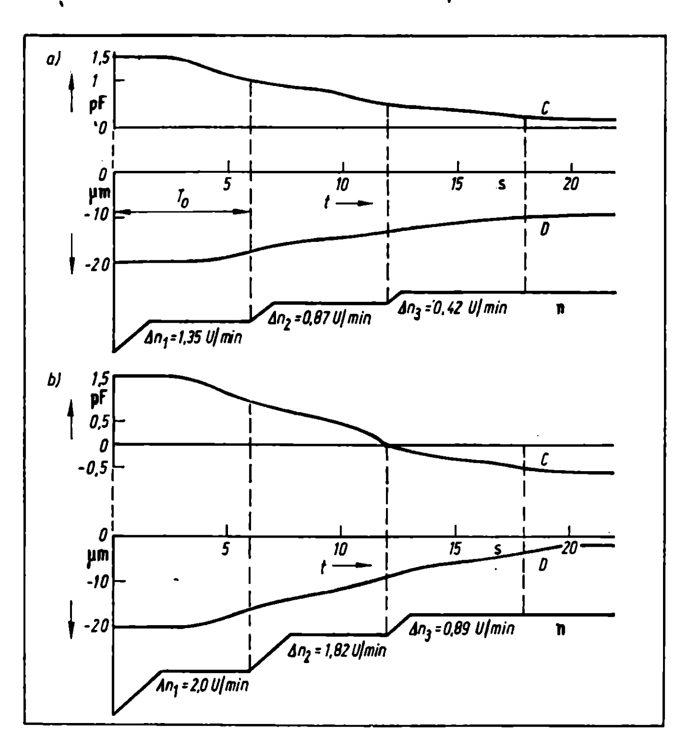
Für das Entkopplungsnetzwerk erhält man bei exakter dynamischer Entkopplung nach *Engel* [3]

$$N_{ik} = -\frac{P_{ik}}{P_{ii}} \cdot \frac{R_{KK}}{R_{ii}}\,. \tag{6}$$

Bild 4. Regelverhalten bei getrennter Aderkapazitäts- und Aderdurchmesserregelung

a) Aderkapazitätsregelung bei $K_{RC} = 0{,}5\,\frac{\text{s}}{\text{mA}}$

b) Aderdurchmesserregelung bei $K_{RD} = 4{,}44\,\frac{\text{s}}{\text{V}}$



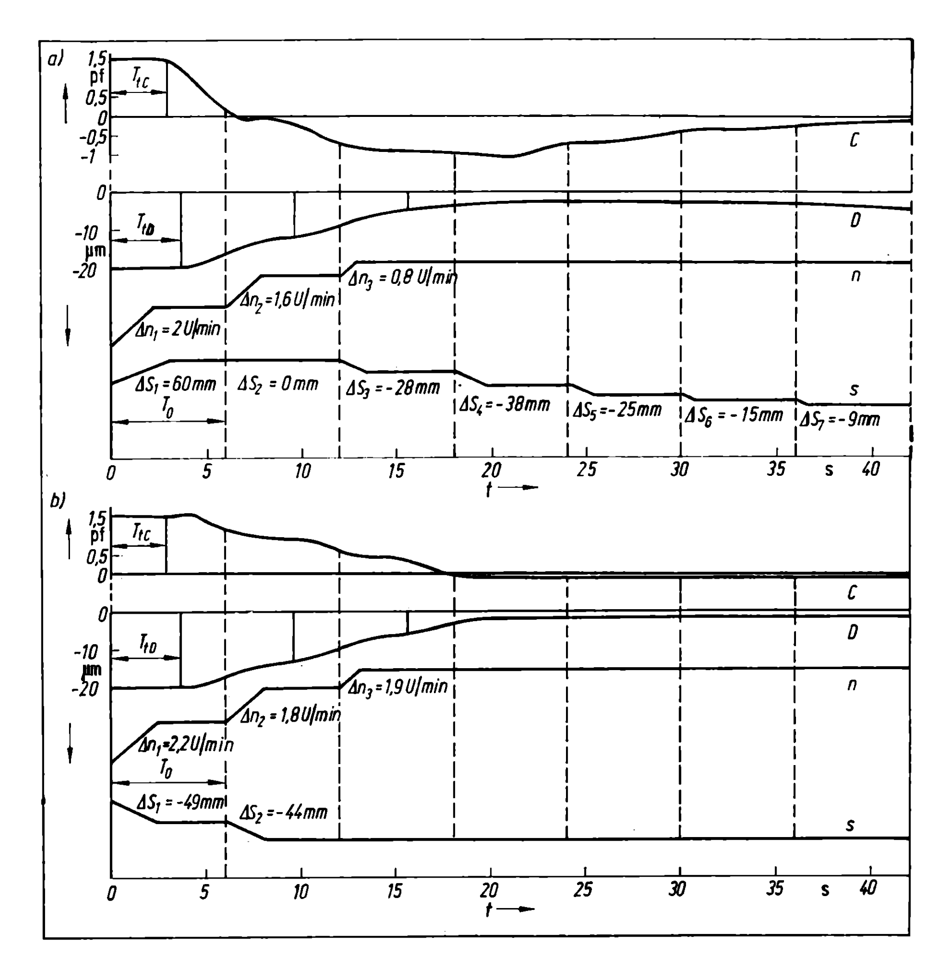


Bild 5
Regelverhalten bei Zweigrößenregelung

a) ohne Entkopplungsglieder
b) mit Entkopplungsgliedern

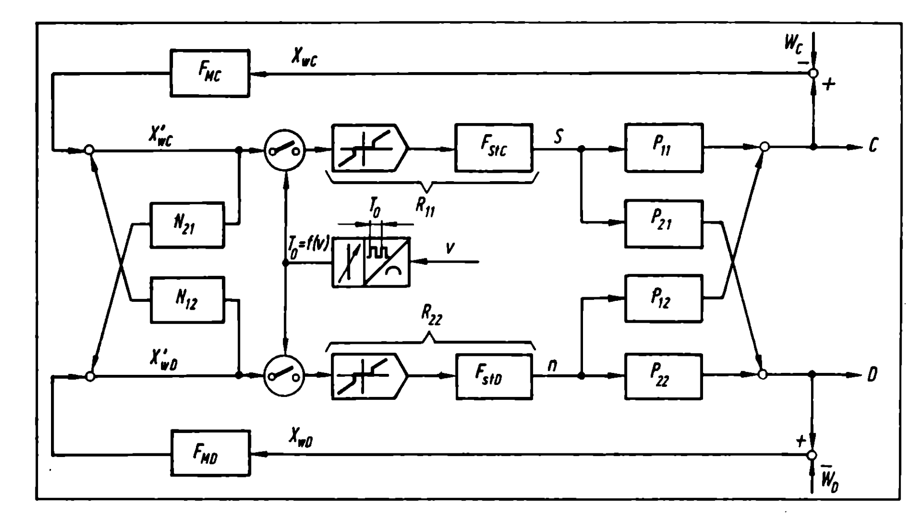


Bild 6
Struktur des entkoppelten Zweigrößenregelungssystems

Mit den Übertragungsfunktionen für R_{11} und R_{22} und wenn Eingangsgrößenänderungen in einer Tastperiode nicht übertragen werden, entfallen die dynamischen Anteile, und es wird nur noch statisch entkoppelt. Die Entkopplungsglieder sind daher $N_{21} = +0{,}0188 \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{mA}}$ und $N_{12} = +10{,}0 \frac{\mathrm{mA}}{\mathrm{V}}$.

Es ergeben sich somit zwei einfache P-Glieder, die V-kanonisch in die Reglereingangssignale zu schalten sind.

Die erzielte statische Entkopplung rechtfertigt die Anwendung des ingenieurmäßigen Entwurfsverfahrens für Eingrößenregelsysteme auf das betrachtete Zweigrößensystem im stationären Zustand.

Im Bild 4 ist das Regelverhalten bei getrennter Aderkapazitäts- und Aderdurchmesserregelung gezeigt. Zwar unterschreitet bei Aderkapazitätsregelung die Abweichung der Aderkapazität nach drei Regelschritten die Ansprechschwelle von 0,2 pF, jedoch ist die Abweichung des Aderdurchmessers noch weit von der Ansprechschwelle, die 5 μm beträgt, entfernt. Bei der Aderdurchmesserregelung sind die Verhältnisse entsprechend.

Im Bild 5 ist das Regelverhalten bei Zweigrößenregelung dargestellt. Gemäß Bild 5a werden sieben Regelschritte benötigt, damit sowohl die Abweichungen der Aderkapazität als auch des Aderdurchmessers Werte unter den Ansprechschwellen annehmen. Wie aus dem Bild 5b zu erkennen ist, werden die angenommenen Abweichungen der beiden Regelgrößen in drei Regelschritten bis auf Werte unter den Ansprechschwellen abgebaut.

2.5. *Ermittlung der Ansprechschwellen*

Da sich durch das Entkopplungsnetzwerk die Meßunsicherheit eines Meßgerätes jeweils auf den anderen Regler auswirkt, ist bei

der Festlegung der Ansprechschwellen beider Regler von beiden Meßunsicherheiten und von den Gleichungen für x'_{wC} und x'_{wD} auszugehen (Meßunsicherheiten: $|\Delta D| = |x_{wD}| = 5\ \mu m$, $|\Delta C| = |x_{wC}| = 0{,}2\ pF$). Die Gleichungen für x'_{wC} und x'_{wD} lauten:

$$x'_{wC} = \frac{x_{wC} \cdot F_{MC} + x_{wD} F_{MD} N_{12}}{1 - N_{12} \cdot N_{21}}, \tag{7}$$

$$x'_{wD} = \frac{x_{wD} \cdot F_{MD} + x_{wC} \cdot F_{MC} \cdot N_{21}}{1 - N_{12} \cdot N_{21}}. \tag{8}$$

Die Ansprechschwelle des Reglers für die Aderkapazität ergibt sich zu $a_C = \pm 2{,}04$ mA und für den Aderdurchmesser zu $a_D = \pm 0{,}163$ V.
Damit sind alle Kennwerte der PBM-Regler sowie der gesamten Regeleinrichtung einschließlich der Entkopplungsglieder quantitativ bestimmt.

3. Realisierung des Automatisierungssystems

Von besonderer Bedeutung für die Funktion des Regelungssystems ist die Vorgabe der Abtastperiode T_0 in Abhängigkeit von der Drahtgeschwindigkeit $(T_0 = f(v))$ bei unterschiedlichen Aderprogrammen. Diese Anpassung der Abtastperiode an das jeweilige Aderprogramm führt zur Güteverbesserung der Regelung.

Eine wesentliche Güteverbesserung wird erzielt, wenn die Ansprechschwellen der Impulsgeber sehr gering gehalten werden und dafür bei den Meßgeräten für Aderkapazität und Aderdurchmesser zusätzliche Schwellwertschalter vorgesehen werden, die unmittelbar nach den beiden Meßgeräten einzubauen sind (Bild 6).

Praktische Untersuchungen am Zweigrößenregelsystem der Kabelummantelungsanlage werden zeigen, inwieweit die Tastperiode zwecks Verbesserung des Regelverhaltens verringert werden kann.

Für den Fall, daß der Stellbereich $\pm \Delta s_{max}$ nicht ausreicht, könnte ein Kaskadenregelkreis für die Massetemperatur im Extruder vorgesehen werden, über den die Teleskopkühlrinne zum Arbeitspunkt (Mittelstellung zwischen Spritzkopf und Kühlrinne) zurückgeführt wird.
Die gerätetechnische Realisierung des entworfenen Automatisierungssystems mit Hilfe eines programmierbaren Mikroprozeßrechners gestattet die optimale Anpassung der betrachteten Zweigrößenregelung über den gesamten Betriebsbereich, d. h. einschließlich An- und Abfahren [4] und [5].

Zusammenfassung

Ausgehend vom approximierten dynamischen mathematischen Modell der Durchmesser-Kapazitätsregelstrecke einer Kabelummantelungsanlage zur Herstellung von Fernmeldekabeln wird ein Zweigrößenregelsystem entworfen. Die Glieder des Zweigrößenregelsystems werden vollständig beschrieben. Das Entwurfsverfahren beruht auf der Anwendung grafoanalytischer Hilfsmittel, was bei dem approximierten mathematischen Modell der Regelstrecke gerechtfertigt ist. Der Entwurf läuft in folgenden Schritten ab: 1. Bestimmung der Reglerverstärkungen für die als entkoppelt betrachteten Hauptstrecken, 2. Berechnung der Entkopplungsglieder, 3. Ermittlung der Ansprechschwellen der PBM-Regler. Alle Parameter der PBM-Regler wurden bestimmt. Abschließend wird auf mögliche Vervollkommnungen des statisch entkoppelten Zweigrößenregelsystems bei Verwendung eines Mikroprozeßrechners hingewiesen.

Literatur

[1] *Laurich, K.; Müller, G.; Buckler, B.; Wallau, H.:* Untersuchung einer Zweigrößenregelstrecke an einer Kabelummantelungsanlage. msr 22 (1979) H. 1, S. 28–31.
[2] *Oldenburg, R. C.; Sartorius, H.:* Dynamik selbsttätiger Regelungen. Bd. 1. München: R. Oldenbourg Verlag 1951.
[3] *Engel, W.:* Grundlegende Untersuchungen über die Entkopplung von Mehrfachregelkreisen. Regelungstechnik 14 (1966) H. 12, S. 562–568.
[4] *Fritzsch, W.; Meyer, G.:* Mikroprozessoren, Mikroprozeßrechner und Mikroprozeßrechnersysteme. Elektrie 31 (1977) H. 4, S. 176–179.
[5] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Wandlungsprozesse bei Automatisierungssystemen mit Mikroprozeßrechnern. msr 21 (1978) H. 6, S. 302–307.
msr 6797

Dr. rer. nat. *G. Eppert*, Dipl.-Chem. *I. Schinke* und Ing. *W. Schmelz*, Leuna[1])

Teilautomatisiertes Gasversorgungssystem für Gaschromatographielaboratorien

IA 3.2.4.2

0. Einleitung

In analytischen Laboratorien der chemischen Industrie sind dreißig und mehr Gaschromatographen keine Seltenheit. Die Geräte sind z. T. hochautomatisiert und kostenintensiv. Um den manuellen Auswerteaufwand eines solchen Geräteparks herabzusetzen, ging man zunehmend zur rechnergestützten On-line-Chromatogrammauswertung über [1] bis [4]. Die weitere Entwicklung führte zu vollautomatischen, durch Mikroprozessoren [5] gesteuerten Geräten [6]. Bei derartigen Geräten ist heute, abgesehen von der Probenvorbereitung, der Mensch bis zum Analysenergebnis nicht mehr notwendig.

1. Problemstellung

Dieser Entwicklung peripherer Hardware steht meist noch die vergleichsweise primitive, zumindest uneffektive Gasversorgung der Geräte aus einzelnen Druckgasbehältern gegenüber. Jeder Behälterwechsel unterbricht nicht nur den laufenden Betrieb; häufig dringt Fremdluft in das System und führt zu Störungen. Zudem ist die Konzentration von Druckgasbehältern in Laboratorien vom Standpunkt des Arbeitsschutzes bedenklich, der Behältertransport über Flure und Stockwerke unerwünscht.

Der Anschluß aller Gaschromatographen an ein gemeinsames Gasversorgungssystem löst diese Probleme. Einwände, daß hieraus eine gegenseitige, zur Beeinträchtigung der Analysenergebnisse führende Beeinflussung der Einzelgeräte resultiert, sind unberechtigt. Allerdings muß ein solches Ringsystem einen von der wechselnden Gasentnahme unabhängigen Betriebsdruck haben und den Ausschluß von Fremdluft mit Sicherheit gewährleisten.

[1]) Mitteilung aus dem VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht".

2. Aufbau und Arbeitsweise des Gasversorgungssystems

2.1. Systembestandteile

Das Gesamtsystem besteht aus je einer zentralen Versorgungsleitung für Argon und Wasserstoff (Länge 80 m, Nennweite 15 mm) mit abzweigenden Ringleitungen in acht Laboratorien, einer Kontrollstation und mehreren außerhalb des Gebäudes untergebrachten Druckgasbehälterbatterien.

2.1.1. Gasversorgungsleitungen

Alle Gasversorgungsleitungen aus Stahl (X8 CrNiTi 18.10) wurden durch Ermeto-Verschraubungen verbunden. Für die Ringleitungen in den Laboratorien ist eine Nennweite von 8 mm ausreichend. Gegenwärtig versorgt das System auf einer Gesamtrohrlänge von 800 m insgesamt 200 Gasverbraucher in 2 Etagen. Die Gasentnahme beträgt je Strang rd. 3000 l/d. Für Einzelverbraucher wurden spezielle Ventile[2]) entwickelt (Bild 1). Der Geräteanschluß erfolgt mit Pneumatikschlauch 6 mm × × 1 mm.

[2]) Für die Entwicklung des Handventils und für den Bau des Reglers sowie der Gasregeleinheit danken wir den Herren Ing. *W. Schmitt, M. Denzin, R. Heisterberg* und *R. Matte*.

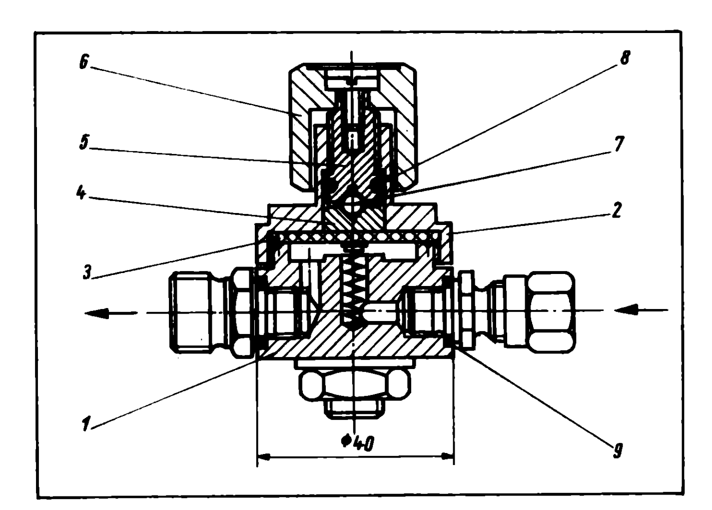


Bild 1. Handventil zur Gasentnahme

1 Metallkörper; *2* Schraubdeckel; *3* Membran aus HD-Polyäthylen; *4* Druckbolzen; *5* Ventilspindel; *6* Stellknebel; *7* Kugel; *8* Rundring; *9* Vulkanfiberdichtung

2.1.2. Kontrollstation

Die Kontrollstation ist wegen Brand- und Explosionsgefahr durch Wasserstoff in zwei getrennte Einheiten aufgeteilt. Sie enthält eine Gasregeleinheit und eine Elektronikeinheit.

2.1.3. Gasregeleinheit

Das Prinzip der Gasregeleinheit zeigt Bild 2. Die Gase werden von den außerhalb des Gebäudes befindlichen Druckgasbehältern zugeführt. Für jedes Gas sind zwei Behälterbatterien parallel angeschlossen, wobei entweder die Zuleitungsventile *1* und *3* oder *2* und *4* geöffnet sind.
Die Spülventile werden pneumatisch betätigt.
Kernstück der Gasregeleinheit sind die Druckregler. Ihre Wirkungsweise ist aus Bild 3 ersichtlich.

2.1.4. Elektronikeinheit

Die Elektronikeinheit (Bild 4) hat zwei Einschübe. Der untere Einschub enthält 4 Magnetventile für die Steuerluftzuführung der 4 Spülventile in der Gasregeleinheit. Im oberen Einschub befinden sich die Elemente zur Signalgebung und Kontrolle.

Die Spülzeit wird durch einen Zeitbaustein (ZB 1−2, VEB Wetron Weida) automatisch eingestellt. Die Außenkreise mit den vier Kontaktmanometern der Druckgasbehälter sind durch Einbau geeigneter Signalbausteine (SE 122 A, PGH Verstärkertechnik, Leipzig) eigensicher.

2.2. Arbeitsweise der Kontrollstation

Die Arbeitsweise der Kontrollstation sei anhand der Schaltung erläutert.
Nehmen wir an, im Druckgasbehälter *1* (Argon) sei der Druck auf den minimal zulässigen Behälterdruck abgefallen. Kontaktmanometer *1* öffnet, Kontakt *1a, b* öffnet, Relais *1* fällt ab. Über *8/9* leuchtet Kontrollampe *1* (rot), über *14/15* erhält der akustische Alarmgeber Spannung. Das Laborpersonal öffnet Zuleitungsventil *2*, schließt Zuleitungsventil *1* und löscht den Alarm durch Drücken von D_1. Relais *2* öffnet *11/12* und schließt *6/7* (Haltekontakt) bzw. *9/10*. Über *9/10* wird Relais *3* vorbereitet, erhält aber wegen des geöffneten Kontaktes *1a/b* noch keine Spannung. Durch Inbetriebnahme eines vollen Druckgasbehäl-

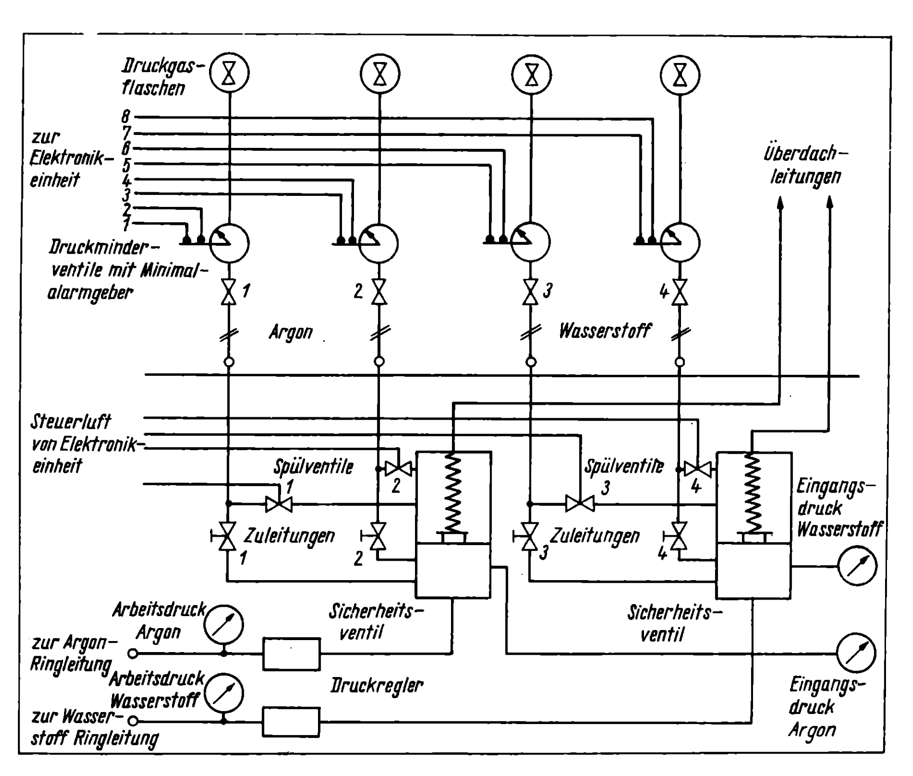


Bild 2
Prinzipbild der Gasregeleinheit mit Druckgasbehälter- und Alarmgeberanschlüssen

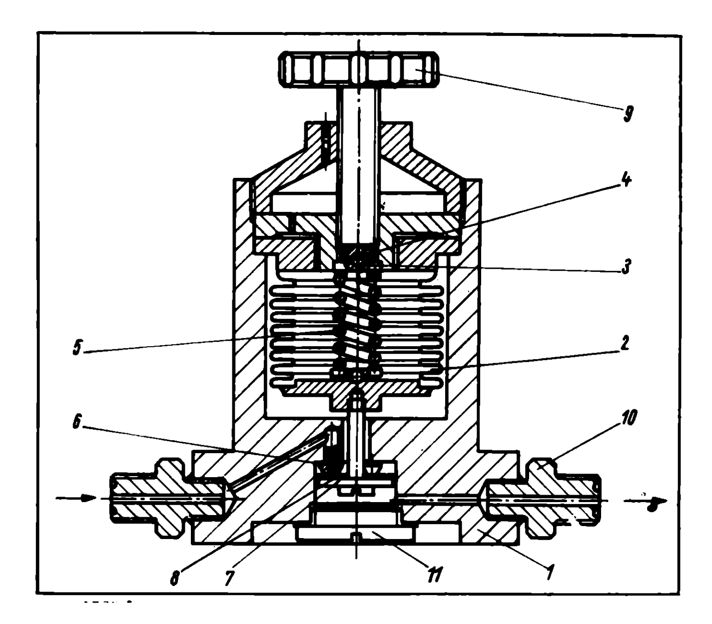
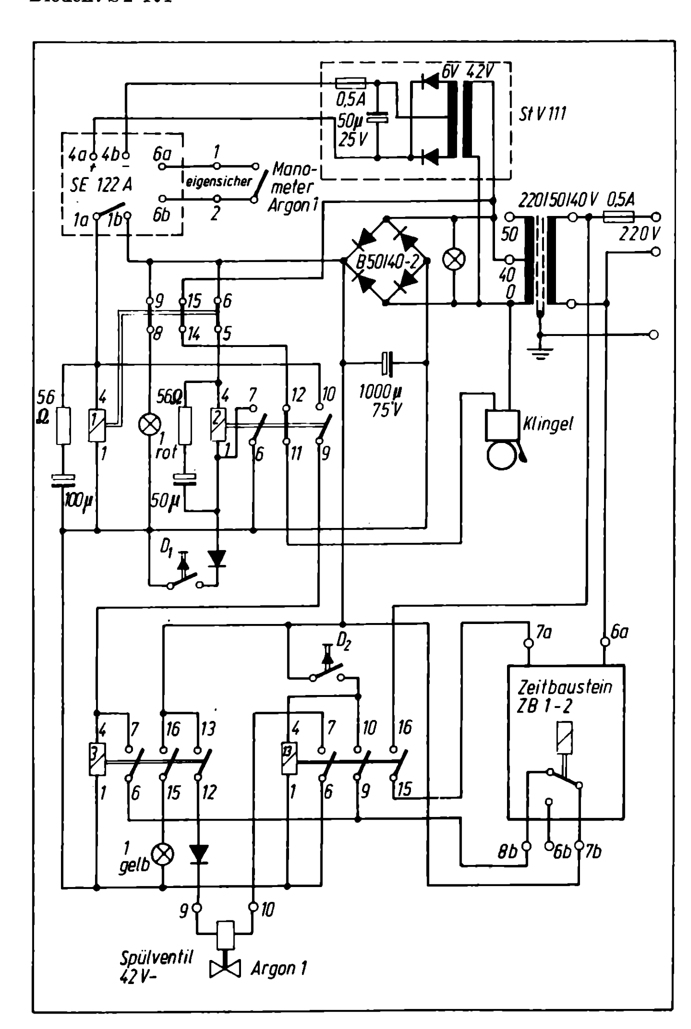


Bild 3. Druckregler

1 Gehäuse; *2* Metallbalg; *3* Federteller; *4* Kugel; *5* Druckfeder; *6* Düse; *7* Teller; *8* Dichtung; *9* Stellschraube; *10* Anschlußstutzen; *11* Verschlußschraube

Bild 4. Schaltplan zur Elektronikeinheit (Auszug)

Es wurden nur die für den ersten Druckgasbehälter erforderlichen Elemente gezeichnet. Die Elemente für die drei übrigen Behälter sind sinngemäß einzufügen. Alle Schalterstellungen sind spannungslos; alle Manometerstellungen sind in Alarmzustand
Relais: NSF 30.4-40 V
Dioden: SY 101



ters schließt Kontakt *1a/b*, Kontrollampe *1* (rot) erlischt und Relais *3* erhält kurzzeitig Spannung. Die Kontakte *6/7* (Haltekontakt über dem Zeitbaustein ZB 1–2), *15/16* und *12/13* schließen. Kontrollampe *1* (gelb) zeigt an, daß das Spülen der Zuleitung *1* fällig ist. Nach Drücken von Taste D_2 wird der Spülvorgang über Relais *13* in der vorgegebenen Zeit automatisch mit Hilfe des Spülventils „Argon *1*“ ausgelöst. Das Gas strömt während dieser Zeit in die Überdachleitung. Nach Ablauf der Spülzeit fallen die Relais *3* und *13* ab, Lampe *1* (gelb) erlischt. Der folgende Algorithmus ist für das Bedienungspersonal und faßt den geschilderten Ablauf zusammen:

Lampe rot	*1*	*2*	*3*	*4*	(Klingel)
Ventil	*2*	*1*	*4*	*3*	→ öffnen
Ventil	*1*	*2*	*3*	*4*	→ schließen
Klingel					——→ aus
Gasbehälter	*1*	*2*	*3*	*4*	→ anfordern
Lampe gelb	*1*	*2*	*3*	*4*	→ spülen

2.3. Technische Daten

Netzspannung	220 V/50 Hz
Steuerluft	min. 0,1 MPa
Gaseingangsdruck	max. 0,9 MPa
	min. 0,5 MPa
Arbeitsdruck	max. 0,5 MPa
	min. 0,15 MPa

Kontaktmanometer Typ 2/Z 103–1/1 Unterwert, Magnetspringschaltung (VEB Meßgerätewerk Beierfeld), eigensicher entsprechend TGL 200-0621 durch Signalbausteine SE 122 A mit eigensicherem Außenkreis und Stromversorgung StV 111.

3. Erfahrungen mit dem System

Das beschriebene System hat sich seit 7 Jahren im ununterbrochenen Betrieb bewährt. Defekte traten in dieser Zeit nicht auf. Für den Störungsfall ist ein Algorithmus zur Fehlersuche und Schnellreparatur vorhanden.

Von besonderer Bedeutung erwies sich der Einbau von Schwebekörperdurchflußmessern zur Kontrolle der Gasentnahme am Eingang der Ringleitungen der Laboratorien. Dadurch ließen sich Gasverluste schnell lokalisieren. Als Ursachen konnten meist Undichtheiten in den angeschlossenen Geräten nachgewiesen werden.

Zusammenfassung

Es wurde ein teilautomatisiertes Gasversorgungssystem beschrieben, das den rationellen Betrieb einer großen Anzahl von Gaschromatographen unterschiedlicher Typen mit Rechnerauswertung erlaubt.

Literatur

[1] *Günzler, H.:* Möglichkeiten des Einsatzes von EDV-Anlagen in der Instrumentellen Analytik. Z. Anal. Chem. 256 (1971) H. 1, S. 14–20.
[2] *Baudisch, J.:* Experiences with a GC-Computer System in an Industrial Analytical Laboratory. Chromatographia 5 (1972) H. 2/3, S. 79–82.
[3] *Seifert, G.:* Der Einsatz von Elektronenrechnern in der Analysenmeßtechnik, Teil II. Wissenschaft und Fortschritt 23 (1973) H. 9, S. 420–424.
[4] *Fok, J. S.: Abrahamson, E. A.;* A Large Computer System for Online Data Acquisition and Analysis of Data from Analytical Instruments. Chromatographia 7 (1974) H. 9, S. 423–431.
[5] *Baumann, F.; Hendrickson, J.; Wallace, D.:* Microprocessors in Chemical Instrumentation. Chromatographia 7 (1974) H. 9, Seite 530–538.
[6] *Mikkelsen, L.; Poole, J.; Stefanski, A.; Biesel, H. R.:* The Use of New Computer Technology in Chromatography. Chromatographia 7 (1974) H. 9, S. 447–451.
msr 6757

Doz. Dr. sc. phil. *W. Kriesel*, Magdeburg, Dipl.-Ing. *R. Schmidt* und Dr.-Ing. *P. Schmidt*, Berlin[1])

Mehrgrößenregelungen mit elektrisch-analogen Bausteinsystemen

IA 2.4.1

0. Einleitung

Anliegen dieses Beitrages ist es, eine Brücke zwischen modernen Regelungstheorien (Entwurfsverfahren im Zustandsraum) und der heutigen Gerätetechnik zu schlagen. Hierzu soll nach Behandlung der prinzipiellen gerätetechnischen Umsetzungsmöglichkeiten für derartige Mehrgrößen-Regelungsalgorithmen bei Berücksichtigung ihrer Einordnung in ein hierarchisches Konzept moderner Automatisierungsmittel gezeigt werden, wie diese Aufgabe unter Anwendung von elektrisch-analogen Bausteinen aus dem System ursamat 4000 einschließlich aus der VR Polen importierter Rechenfunktionseinheiten lösbar ist.

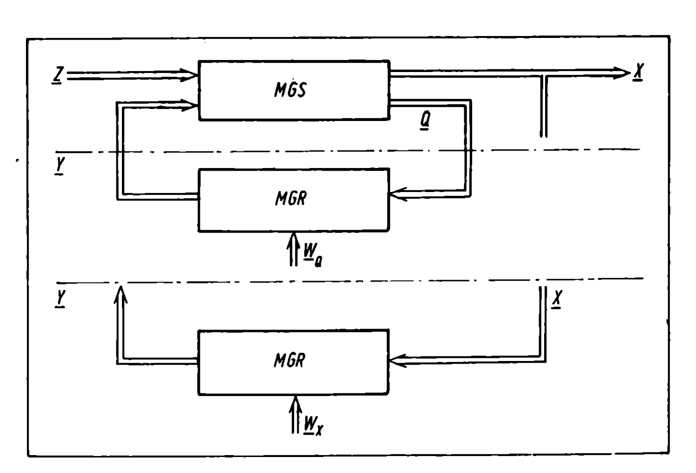


Bild 1. Mehrgrößenregelkreisstrukturen nach dem Prinzip der Zustands- und Ausgangsrückführung (Ganzwerte)

MGS Mehrgrößenregelstrecke; *MGR* Mehrgrößenregler; X Regelgrößenvektor, Format $(r, 1)$; Z Störgrößenvektor, Format (beliebig, 1); Q Zustandsgrößenvektor, Format $(n, 1)$; Y Stellgrößenvektor, Format $(m, 1)$; W_X Führungsgrößenvektor für X, Format $(r, 1)$; W_Q Führungsgrößenvektor für Q, Format $(n, 1)$

Für die praktische Realisierung mod erner Mehrgrößen-Rege-l ungskonzepte ist die Umsetzung mit handelsüblichen Geräten eine der Schlüsselfragen, weil auf Grund begrenzter Einsatzstückzahlen eine spezielle Entwicklung und Produktion derartiger Mehrgrößenregler aus ökonomischen Überlegungen i. allg. ausscheidet. Mithin wären also Konzepte, die solche Speziallösungen fordern, von vornherein unter Industriebedingungen nicht realisierbar.

Betrachtet werden hier die aus der Theorie bekannten Mehrgrößen-Regelungsstrukturen nach dem Prinzip der Zustands- und Ausgangsrückführung [1] und [2]. Bei einer Zustandsrückführung wird bekanntlich gemäß Bild 1 der Zustandsvektor Q im Mehrgrößenregler zum Stellgrößenvektor Y verarbeitet, während bei einer Ausgangsrückführung dazu der Regelgrößenvektor (Ausgangsgrößenvektor) X verwendet wird.

Für den Entwurf einer derartigen Mehrgrößenregelung — der nach [3] bis [5] erfolgen kann und hier nicht näher beschrieben werden soll — wird ein in den Arbeitspunkten aller Variabler linearisiertes und quantitativ bestimmtes Zustandsraummodell (Prozeßmodell) für das zu regelnde System vorausgesetzt:

$$\left.\begin{aligned} \dot{q} &= \mathbf{A}q + \mathbf{B}_s y + \mathbf{B}_z z \\ x &= \mathbf{C}q\,. \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Die Vektoren in Gl. (1) kennzeichnen Abweichungsvektoren, die zu entsprechenden Ganzwertvektoren sowie Arbeitspunktvektoren gehören (z. B. $x = X - X_{AP}$).

Für die Matrizen gilt:

- $\mathbf{A}$ Systemmatrix, Format (n, n)
- $\mathbf{B}_s$ Eingangsstellmatrix, Format (n, m)

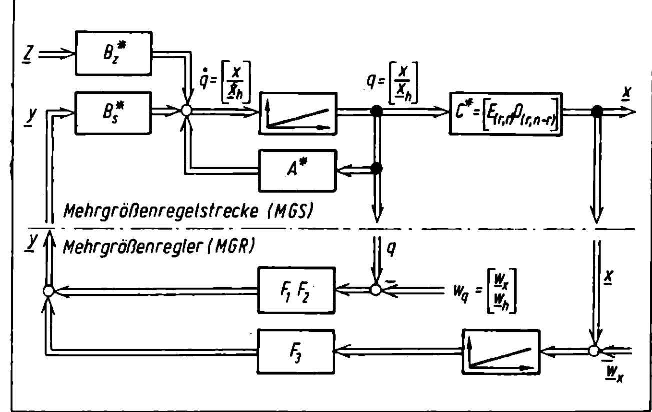


Bild 2. Mehrgrößenregelkreisstruktur mit zugeschnittenem Regelstreckenmodell und Mehrgrößenregler mit spezieller PI-Zustandsrückführung (Abweichungsvariablen)

x_h Hilfsregelgrößenvektor; w_h Führungsgrößenvektor für x_h; F_1, F_2, F Reglermatrizen mit passendem Format

- $\mathbf{B}_z$ Eingangsstörmatrix, Format (n, Störgrößenanzahl)
- $\mathbf{C}$ Ausgangsmatrix, Format (r, n).

1. Mehrgrößenregelungs-Algorithmus

Der gerätetechnisch umzusetzende Regelungsalgorithmus wird am Beispiel einer für die elektrisch-analoge Realisierung vorteilhaften Mehrgrößen-Regelkreisstruktur nach Bild 2 beschrieben [3] und [5]. Dabei ist die Gerätetechnik relativ universell und keinesfalls auf diese Struktur allein beschränkt [6].

Im Matrixsignalflußbild nach Bild 2 symbolisieren die Doppelpfeile Vektoren, die sich aus der vorgegebenen Anzahl von Signalgrößen zusammensetzen, und die Übertragungsblöcke sind Matrizen, die eine entsprechende Anzahl von Übertragungselementen enthalten. Die Regelkreisstruktur besteht aus zwei Zustandsraummodellen gemäß Bild 2, die gegenüber Gl. (1) modifiziert wurden:

- Mehrgrößenregelstrecke

$$\left.\begin{aligned} \dot{q} &= \begin{bmatrix}\dot{x}\\ \dot{x}_h\end{bmatrix} = A^*\begin{bmatrix}x\\ x_h\end{bmatrix} + B_s^* y + B_z^* z \\ x &= C^*\begin{bmatrix}x\\ x_h\end{bmatrix} \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

[1]) Mitteilung aus der TH „Otto von Guericke" Magdeburg, Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik, und dem Institut für Regelungstechnik Berlin im Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin.

– Mehrgrößenregler

$$y = F_1(x - w_x) + F_2(x_h - w_h) + F_3 \int (x - w_x)\, dt\,. \tag{3}$$

Das spezielle Regelstreckenmodell nach Gl. (2) läßt sich aus Gl. (1) unter der i. allg. erfüllten Bedingung Rang $C = r$ herleiten bzw. direkt in dieser Form ermitteln. Es ist erkennbar an der besonderen Form von

$$C^* = [E_{(r,\,r)} O_{(r,\,n-r)}]$$

mit der (r, r)-Einheitsmatrix $E_{(r,\,r)}$ und bedeutet die Identität der r-Regelgrößen mit den ersten r-Zustandsgrößen. Die spezielle Zustandsrückführung wird durch eine PI-Rückführung der r Regelgrößen über F_1, F_3 und eine P-Rückführung der $(n - r)$ Hilfsregelgrößen über F_2 gebildet. Diese Struktur hat folgende Vorteile (vgl. Abschn. 3):

– kein Auftreten von bleibenden Regelabweichungen
– kann auch als Mehrkanal-PI-Regelung mit zusätzlicher P-Regelung von Hilfsregelgrößen verstanden werden (durch diese aus der klassischen Theorie bekannten Betrachtungen wird die Durchschaubarkeit für den Regelungspraktiker verbessert und damit die Anwendung in der Praxis erleichtert)
– Mehrgrößen-Regelungsstruktur kann auch an bereits bestehenden Anlagen durch Nachrüstung zusätzlicher Gerätetechnik und gleichzeitiger Weiterverwendung der vorhandenen PI-Regler realisiert werden
– ermöglicht ein einfaches Back-up-Konzept nahezu ohne zusätzlichen Aufwand.

2. Prinzipielle Einsatzmöglichkeiten in einem hierarchischen System von Automatisierungsmitteln

Nachfolgender Überblick zu generellen Realisierungsmöglichkeiten muß von einer Einordnung der betrachteten Mehrgrößenregler in die funktionellen Ebenen moderner Automatisierungsmittel ausgehen (Bild 3) [7] und [8].

Die Automatisierungszielstellung für die betrachteten Mehrgrößenregelungen besteht in der Prozeßstabilisierung, wobei als Regelgrößen elementare Prozeßparameter, wie Temperaturen, Drücke, Durchflüsse, Wege, Winkel, Drehzahlen u. ä., auftreten. Die Prozeßstabilisierung mit diesen Größen wird funktionell auf der Ebene 2 (MSR-Basisebene) abgewickelt, wie dies aus Bild 3 hervorgeht. Koordinierungsfunktionen (Ebenen 3 und 4) können von diesen Mehrgrößenregelungen prinzipiell nicht erwartet werden.

Bild 4 zeigt, daß Mehrgrößenregelungen nach dem Prinzip der Zustandsrückführung aus der Sicht der Gerätetechnik industriell realisierbar sind. Die Verkopplung größerer Anlagenteile im Mehrgrößenregler bringt (gleichermaßen wie die DDC) ernste Zuverlässigkeitsprobleme mit sich, so daß insbesondere die Ausfallsituation bei mehreren Meß- und Stellgrößen durch den Anlagenfahrer nur schwer beherrschbar ist. Daher werden hier spezielle analoge Mehrgrößenregler in Überlagerung mit konventionellen PI-Reglern vorgeschlagen. Bild 5 zeigt eine mögliche Realisierungsvariante, bei der die zusätzlichen Mehrgrößenregler derart eingebunden sind, daß bei ihrem Ausfall die Mehrgrößenstrecke weiterhin durch die einschleifigen PI-Regelungen beherrschbar bleibt. Diese Struktur liegt auch dem Anwendungsfall nach Bild 6 zugrunde.

Für eine mögliche digitale Realisierung von Mehrgrößenreglern nach dem Prinzip der Zustandsrückführung unter Verwendung von Prozeßrechnern kann eingeschätzt werden, daß besonders für die Betriebsart DDC in einigen Großbetrieben die geräte- und anlagentechnischen Voraussetzungen zur Anwendung dieser Prinzipien grundsätzlich gegeben wären. Andere digitale Realisierungsvarianten unter Verwendung von Mikroprozessor-Mehrkanalreglern dürften jedoch demgegenüber stärkere Beachtung finden.

Für die überwiegende Anzahl von Betrieben sind verkoppelte Prozesse mit 2 bis 5 Regelgrößen charakteristisch, und hierfür haben analog arbeitende Gerätestrukturen ihre ökonomische Berechtigung, zumal die o. a. Lösung nach Bild 6 zusätzlich strukturelle Zuverlässigkeitsvorteile bietet. Ein analoger Mehrgrößenregler zur Realisierung der Zustandsrückführung kann aus handelüblichen Bausteinen (s. Bild 6) moderner Baustein-

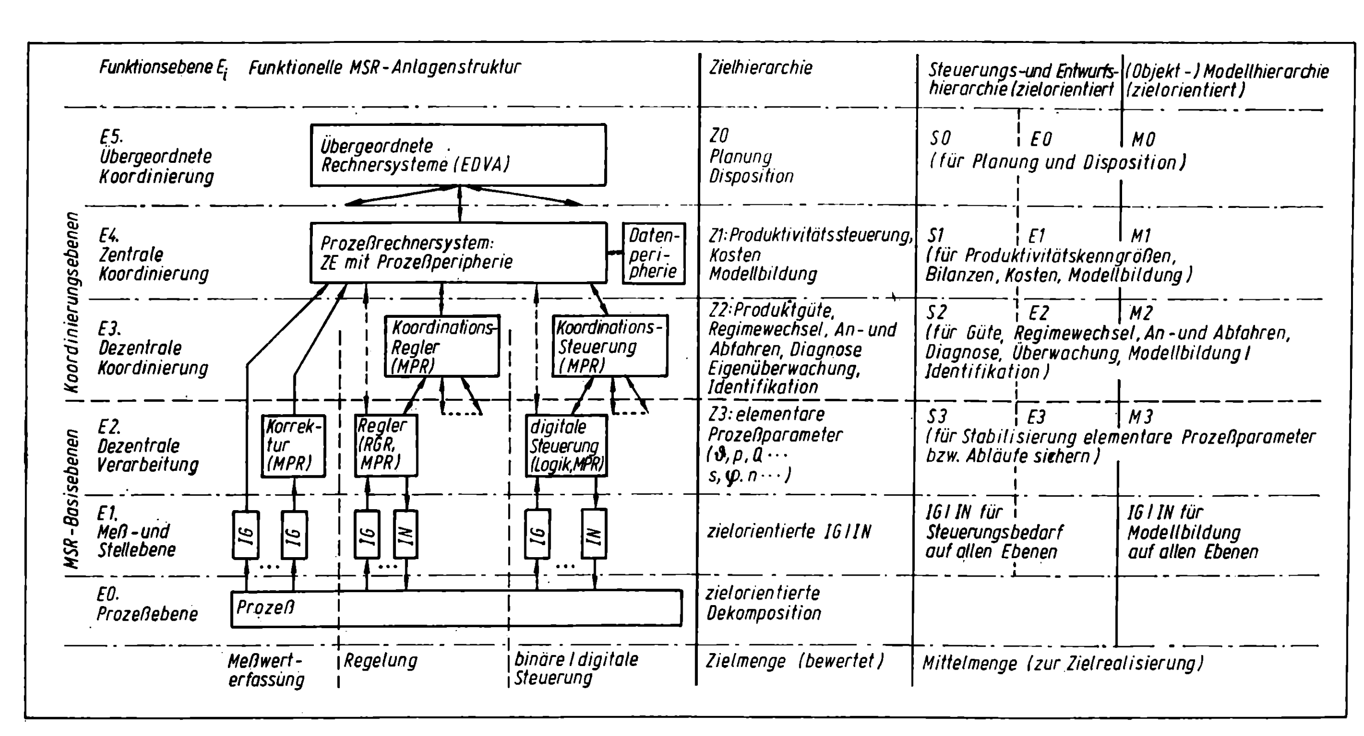


Bild 3. Automatisierungsstrukturen

IG Informationsgewinnung; *IN* Informationsnutzung; *ZE* Zentraleinheit; *RGR* Rechnergeführte Regelung; *MPR* Mikroprozeßrechner

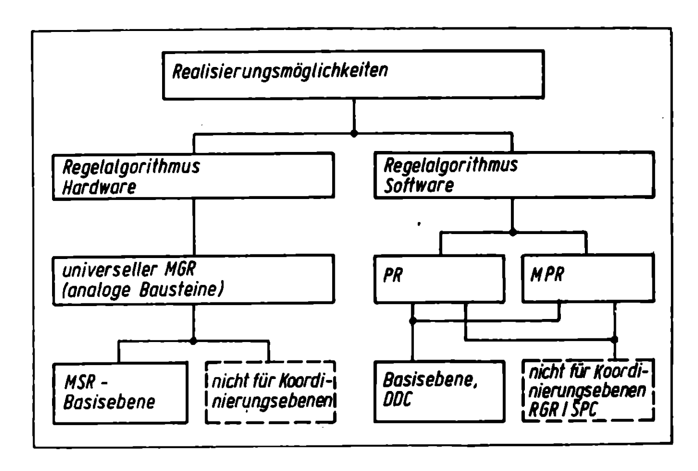


Bild 4. Realisierungsmöglichkeiten für Mehrgrößenregler

Bild 5. Mehrgrößen-Regelkreisstruktur mit konventionellen PI-Reglern und Mehrgrößen-Zusatzreglern (für $m = r$)

K_1, K_2 Diagonalmatrix der Reglerverstärkungen; K_N Diagonalmatrix der reziproken Nachstellzeitkonstanten; F_{z1}, F_{z2}, F_{z3} Zusatzreglermatrizen

systeme konfektioniert werden; dies gilt auch für die neue Generation 4000 des elektrisch-analogen ursamat-Bausteinsystems.

3. Aufbau elektrisch-analoger Mehrgrößenregler aus industriellen Bausteinen

Bei Voraussetzung des speziellen Regelstreckenmodells nach Gl. (2) kann der zu realisierende Regelalgorithmus nach Gl. (3) durch Überlagerung eines konventionellen Teils, bestehend aus üblichen PI-Reglerkanälen mit zugehörigen Leitgeräten, und eines für die Mehrgrößenregelung zusätzlichen Teils, bestehend aus P-Reglern und Summiereinheiten gemäß Bild 5, erzeugt werden. Dabei erhöht der zusätzliche Teil (Mehrgrößenzusatzregler) den Mehrgrößenregler-Gesamtaufwand auf etwa das Eineinhalbfache gegenüber konventionellen PI-Reglern.

Für eine Druck-Durchfluß-Regelstrecke mit einem technologischen Aufbau nach [9] sowie einem Regelstreckenmodell mit der Ordnung $n = 3$ sowie 2 Regel- und 2 Stellgrößen ($r = m = 2$) ist das sich aus Bild 5 ergebende Geräteschaltbild eines Mehrgrößenreglers im Bild 6 gezeigt.

Die Erzeugung der nach den Bildern 2 bzw. 5 erforderlichen Koeffizienten aus F_1, F_2, F_3 bzw. K_1, K_2, K_N, F_{z1}, F_{z2}, F_{z3} erfolgt mit den Baustein-Reglern (ursamat-Baustein-Typen RBS 01 und RBS 03) und den aus der VR Polen importierten Summiereinheiten (ABS-50M) oder den Bewertungsbausteinen (RBW 04). Durch Verwendung von üblichen (Nulltrend-) Leitgeräten (Typ RLS des VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert" Magdeburg) kann die Anzeige der beiden Regelgrößen, Regelabweichungen und Stellgrößen ausgeführt werden. Zusätzlich kann mit dem Stellgrößenmeßwerk eines Leitgerätes die Abweichung der Hilfsregelgröße mit einer Nullstellung bei 50% der Skale umschaltbar angezeigt werden.

Bei Ausfall des für die Mehrgrößenregelung zusätzlichen Reglerteils bleibt die konventionelle PI-Regelung als Back-up-Variante erhalten. Hierzu sind für diesen konventionellen Teil geeignete Reglerkoeffizienten einzustellen, die einen stabilen Notbetrieb der Regelungen gestatten. Bei einem eventuellen Ausfall

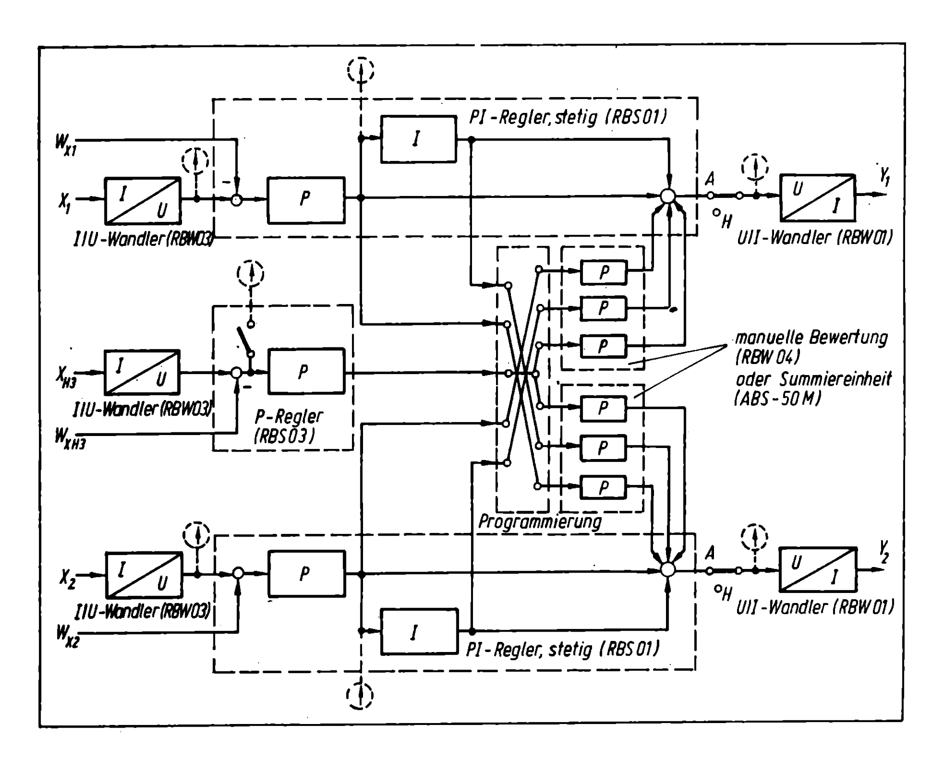


Bild 6

Bausteinanordnung eines Mehrgrößenreglers mit $n = 3$, $m = r = 2$ (System ursamat)

ergeben sich zeitlich begrenzte sprunghafte Änderungen der Stellgrößen, die aber durch die Wirkung der konventionellen Regelkreise abgebaut werden. Erforderlichenfalls sind diese zeitlich begrenzten Änderungen der Stellgrößen noch durch zusätzliche gerätetechnische Mittel (Verzögerungsglieder) zu dämpfen.

Zusammenfassung

Es wird gezeigt, daß die gerätetechnische Umsetzung von Mehrgrößenregelungen auf der Basis elektrisch-analoger Bausteinlösungen mit handelsüblichen Bausteinen moderner Gerätesysteme (z. B. System ursamat) derzeit bereits möglich ist. Damit sind industriellen Anwendungen der angegebenen Mehrgrößenregelungen geräteseitig keine prinzipiellen Schranken mehr gesetzt. Auch liegen industriell ausreichende, universelle Entwurfsprogramme für die Mehrgrößenregler zur Nutzung vor [3] und [4]. Zur Bereitstellung der für den Einsatz dieser Geräte erforderlichen speziellen Voraussetzungen (Regelstreckenmodelle) ist fallabhängig eine relativ umfassende, prozeßanalytische Arbeit erforderlich.

Auf Grund des international erreichten theoretischen Bearbeitungsstandes auf diesem Gebiet ist die industrielle Anwendung der Mehrgrößenregelung nach Prinzipien der Zustands- und Ausgangsrückführung praktisch möglich, infolge des Gesamtaufwandes jedoch eingeschränkt auf spezielle Fälle. Hierzu stehen gerätetechnische Lösungen mit Seriengeräten zur Verfügung, für deren Anwendung die Überlagerung einer PI-Regelung mit einem Mehrgrößenzusatzregler vorgeschlagen wird.

Literatur

[1] *Korn, U.; Wilfert, H.-H.:* Mehrgrößenregelung: Erreichter theoretischer Stand und Möglichkeiten der praktischen Nutzung. Jahrestagung der WGMA, Berlin 1976.

[2] *Föllinger, O.:* Regelungstechnik, Einführung in die Methoden und ihre Anwendung. 2. Aufl. Westberlin: Elitera-Verlag 1978.

[3] *Töpfer, H.; Schmidt, P.; Vigerske, W.:* Einfaches stochastiches Suchverfahren für den Entwurf von Mehrgrößenregelungen. msr (in Vorbereitung).

[4] *Kriesel, W.; Müller, G.; Brüchert, W.:* Rechenprogramme zum determinierten Entwurf von Zustandsreglern für Mehrgrößensysteme. msr 22 (1979) H. 4, S. 182 – 186.

[5] *Kriesel, W.; Müller, G.; Schmidt, P.; Zowada, I.:* Systementwurf und gerätetechnische Realisierung von Mehrgrößenreglern nach dem Prinzip der Zustandsrückführung. 21. IWK, TH Ilmenau 1976, H. 2, S. 53 – 56.

[6] *Brüchert, W.:* Zur Realisierung von Regelungsverfahren im Zustandsraum. Dissertation, TH „Otto von Guericke" Magdeburg 1978.

[7] *Töpfer, H.; Kriesel, W.* (Hrsg.): Funktionseinheiten der Automatisierungstechnik – elektrisch, pneumatisch, hydraulisch. 2. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1978.

[8] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Wandlungsprozesse bei Automatisierungssystemen mit Mikroprozeßrechnern. msr 21 (1978) H. 6, S. 302 – 307.

[9] *Kriesel, W.; Knüppel, L.:* Einsatzverhalten von modalen Mehrgrößenrgeelungen. msr 22 (1979) H. 6, S. 308 – 310.

msr 6861

Dr.-Ing. *R. Wolf*, Magdeburg[1])

Elektrische Meßumformer – Überblick und Tendenzen (Teil II)

IA 4.3

2. Ableitung von Entwurfskriterien für Meßumformer nach dem Chopper-Prinzip auf der Grundlage der ermittelten Gebrauchswertforderungen

Für die folgenden Betrachtungen wird das Signalflußbild des Modulationsverstärkers (Bild 2) verwendet, das noch durch die Baugruppen für interne galvanische Trennung in bekannter Weise ergänzt wird (Bild 11).

Voraussetzung für den Entwurf der Einzelbaugruppen des Meßumformers ist die Kenntnis der baugruppenbezogenen Fehleraufteilung. Hier wurde unterschieden nach Baugruppen, die wesentliche Fehleranteile liefern und Baugruppen, die nur einen geringen Anteil bezüglich der Fehler verursachen (Tafel 8).

Die den Grundfehler des Gerätes bestimmende Fehlerklasse ist, wie eingangs erwähnt, von der Eingangsspannung abhängig. Für die Werte in Tafel 8 wurde die kleinste Meßspanne $\Delta U_e \leqq 1$ mV angenommen. Man kann davon ausgehen, daß bei den Werten aus Tafel 8 bei Eingangssignalen von $\Delta U_e \geqq 5$ mV der Grundfehler auf 0,4% und bei $\Delta U_e \geqq 10$ mV auf 0,25% zurückgeht.

Der Temperaturfehler des Modulationsverstärkers liegt bei 2 ‰/10 K, und die interne galvanische Trennung kann einen Temperaturfehler von ebenfalls 2 ‰/10 K bringen. Der Temperaturfehler des Gerätes hängt vom jeweiligen Temperatureinsatzbereich (hier −25 °C ... +80 °C) ab. Im Temperaturfehler der Eingangsschaltung (1,5 ‰/10 K ≙ *TK* 150) sind der Temperaturfehler der Brücke (s. Bild 3) und der speisenden Stromquelle (Bild 11, Funktionsgruppe 5) enthalten. Bei einer gedachten Zweiteilung wäre jeweils ein TK-Wert von 75 zulässig. Deshalb sind für die Einzelwiderstände in der Brücke teilweise Manganinwickelwiderstände zu verwenden. Die Einschwingzeit ist mit $t < 1$ s recht langsam. Aus ihr läßt sich auf die Verarbeitungsdynamik des Meßumformers schließen. Man kann dabei

$$t_{\text{Meßwert}} \geqq 10 \cdot t_{\text{Meßumformer}} \qquad (14)$$

oder

$$f_{\text{Meßwert}} \leqq \frac{1}{10 \cdot t_{\text{Meßumformer}}} \qquad (15)$$

zugrunde legen [8]. Beim Einsatz der Meßumformer für die Zwecke der Temperatur- und Analysenmeßtechnik wurden von den Hauptanwendern Einschwingzeiten von $t \approx 1$ s als ausreichend bezeichnet. Fast die gesamte Einschwingzeit wird durch das Eingangsfilter zur Unterdrückung von Gegentaktstörspannungen (≧ 50 dB) und vom Ausgangsfilter zur Spike-Unterdrückung bestimmt, wobei das Eingangsfilter den größeren Anteil liefert.

Der Speisestrombedarf ist von Interesse, da bei einer Zweileiteranschlußtechnik (live zero) der Speisestrom maximal 4 mA betragen darf. Im Bild 12 ist das Prinzip der Zweileitertechnik zu sehen. Um Leitung einzusparen, wird über zwei Leitungen sowohl der Speisestrom (0 ... 4 mA) als auch der Signalstrom (4 ... 20 mA) übertragen.

Der angehobene Nullpunkt von 4 mA kann außerdem zur Signalisierung bei Geräteausfall verwendet werden.

Bei den aufgeführten Fehlerwerten muß die Verstärkung $v \gtrapprox 150000$ betragen. Damit scheidet eine Realisierung des

---

[1]) Teil I erschien im Heft 6/1979.

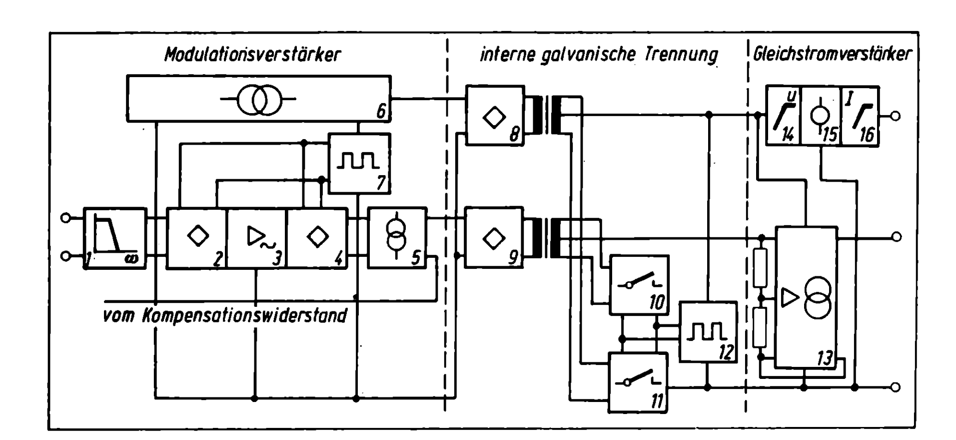


Bild 11
Modulationsverstärker mit interner galvanischer Trennung [7]

1 Eingangsfilter; *2* Modulator; *3* Verstärker; *4* Demodulator; *5* Stromverstärker; *6* Stromquellen; *7* Generator; *8, 9* Demodulatoren; *10, 11* Modulatoren; *12* Generator; *13* Stromverstärker; *14* Spannungsbegrenzung; *15* Spannungsstabilisierung; *16* Strombegrenzung

Tafel 8. Baugruppenbezogene Fehleraufteilung bei Modulationsverstärkern

Eigenschaft	Vorgabe	Eingangsschaltung	Wechselspannungs-verstärkung	Gleichspannungs-verstärker	galvanische Trennung	restliche Baugruppen
Fehlerklasse	0,6 %	1 ‰	1 ‰	1 ‰	2 ‰	1 ‰
Temperaturfehler	0,4 %/10 K	1,5 %/10 K	0,5/ %10 K	–	1,5 %/10 K	0,5 %/10 K
	< 1 s	–	< 0,8 s	–	< 0,1 s	≧ 0,1 s
Stromverbrauch	≦ 4 mA	2,0 mA	0,6 mA	0,2 mA	1 mA	< 0,2 mA

Wechselspannungsverstärkers mit üblichen Operationsverstärkern aus, da diese Schaltkreise Ströme in der Größenordnung von 1 mA verbrauchen. Der Schaltungsaufbau kann diskret oder mit Low-power-Analogverstärkern erfolgen.

Ein weiteres, nicht sofort erkennbares Problem beim Entwurf eines Meßumformers bildet die Eingangsbrücke. Die Brücke im Bild 13 wird stromgespeist. Die Meßspanne wird durch den Kompensationswiderstand R_K bestimmt

$$R_K = \frac{\Delta R_F \cdot I_1}{I_a \max}. \qquad (16)$$

Bei einer geforderten maximalen Auflösung $\Delta U_e \leqq 1\,\text{mV} = \Delta R_F \cdot I_1$ folgt für R_K:

$$R_K \geqq 0{,}05\,\Omega\,.$$

Dieser Widerstand ist mit TK 10 und 1 ‰ Genauigkeit herzustellen. Bei den derzeitigen Abgleichverfahren für kleine Widerstände erreicht man mit der Thompson-Brücke Genauigkeiten von 1%. Ein Abgleich derart kleiner Widerstände ist außerdem nur im gelöteten Zustand möglich, da bereits der Widerstand des Lötpunktes eingeht. Hier fehlt noch eine geeignete Technologie.

Bei den restlichen Widerständen stehen nicht solche harten Forderungen. Der Nullpunkt wird vom Kompensationswiderstand in Verbindung mit einem anderen Widerstand (häufig R_3) festgelegt. Für R_2 und R_3 genügen TK-Werte von 25 ... 50, für R_1 muß $TK_{R1} \leqq 10$ gefordert werden, da der linke Brückenmittelpunkt ausschließlich von R_1 temperaturmäßig belastet wird.

Wir wollen uns im folgenden mit dem Wechselspannungsverstärker beschäftigen. Tafel 9 zeigt eine zweckmäßige Fehleraufteilung.

Hauptschwierigkeit bei der Realisierung des Wechselspannungsverstärkers bildet das Temperaturverhalten des Modulators ($TK = 50 \triangleq 0{,}5$ ‰/10 K). Diese Forderung kann nur sicher mit Hilfe von Brückenmodulatoren erfüllt werden. Einen Überblick über Modulatoren erhält man anhand der Tafel 10.

Es können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

1. Bei einem zulässigen Gesamtwert von 50 nV/K ($\triangleq$ 0,5 ‰/10 K) ist zu beachten, daß nur gekapselte Brückenmodulatoren mit FET die Forderungen erfüllen können.

2. Bei der Thermospannungsabhängigkeit können folgende Verhältnisse angegeben werden:

$$\frac{\text{FET-Modulator; gekapselt}}{\text{FET-Modulator; ungekapselt}} \approx \frac{1}{12} \qquad (17)$$

$$\frac{\text{Brückenmodulator}}{\text{Serien/Parallel-Modulator}} \approx \frac{1}{2}. \qquad (18)$$

3. Ein Vergleich des Spike-Einflusses bringt bei der Temperaturdrift:

$$\frac{\text{Brückenmodulator}}{\text{Serien/Parallel-Modulator}} \approx \frac{1}{10} \qquad (19)$$

und bei der Steuerdrift

$$\frac{\text{Brückenmodulator}}{\text{Serien/Parallel-Modulator}} \approx \frac{1}{10}. \qquad (20)$$

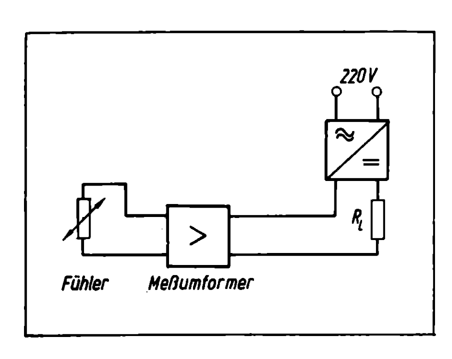


Bild 12
Zweileitertechnik

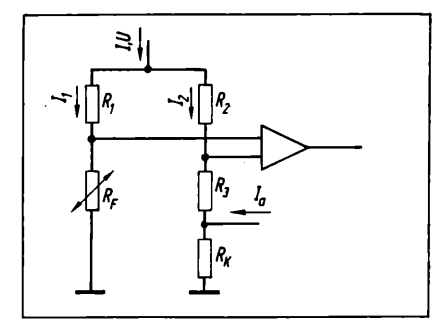


Bild 13
Eingangsschaltung zur Widerstandsmessung

Tafel 9. Fehleraufteilung bei der Baugruppe Wechselspannungsverstärker

Eigenschaft	Vorgabe (nach Tafel 8)	Modulator	Verstärker	Demodulator	Filter
Linearität	1‰	–	1‰	–	–
Temperaturfehler	0,5‰/10 K	0,5‰/10 K	–	–	–
Einschwingzeit	< 0,8 s	–	–	–	< 0,8 s
Stromverbrauch	≦ 0,6 mA	–	≦ 0,6 mA	–	–

– Reduzierung der minimalen Meßspanne auf generell $\Delta U \leqq$ ≦ 1 mV
– Ausweitung des Einsatztemperaturbereiches auf –55(–40) ... ... + 80 °C
– Erzielung einer hohen Gleichtaktstörspannungsunterdrückung (≧ 120 dB) durch interne galvanische Trennung
– Verbesserung des Einstellkomforts durch Möglichkeit zum Unterfahren des Nullpunktes

Tafel 10. Vergleich zwischen Brückenmodulator und Serien-Parallel-Modulator

Art des Modulators	Thermospannungen		Spikes		
	gekapselt	ungekapselt	Temperaturdrift	Steuerdrift	
				Frequenz	Spannung
Brückenmodulator	< 5 nV	70 nV	< 0,5 nV/K bei 200 Hz < 2 nV/K bei 1 kHz < 20 nV/K bei 10 kHz	10 nV/12,5 Hz bei 1 kHz	100 nV/V bei 1 kHz 10 nV/V bei 10 kHz
Serien/Parallel-Modulator	10 nV	120 nV	< 5 nV/K bei 200 Hz < 20 nV/K bei 1 kHz < 200 nV/K bei 10 kHz	20 nV/12,5 Hz bei 200 Hz 100 nV/12,5 Hz bei 1 kHz	200 nV/V bei 200 Hz 1000 nV/V bei 1 kHz 10000 nV/V bei 10 kHz

Aus diesen Gegenüberstellungen ergibt sich, daß die Fehler beim Serien/Parallel-Modulator mindestens um den Faktor 2 größer als beim Brückenmodulator sind.
Die weiteren Baugruppen des Modulationsverstärkers nach Bild 11 sind im Entwurf weniger kritisch. So kann beispielsweise der Stromverstärker 5 als Darlington-Stufe ausgeführt werden.

3. Ausblick auf die Entwicklung bei Meßumformern

3.1. Tendenzen in der Schaltungstechnik

Die Schaltungstechnik bei Meßumformern orientiert sich an der Rationalisierungsnotwendigkeit der herstellenden Industrie, an den technischen Forderungen der Anwender und an serviceaufwandsenkenden Schaltungsvereinfachungen. Insbesondere sind zu nennen:

– Erhöhung des Integrationsgrades der Schaltung durch Einsatz von DF-Widerstandsnetzwerken, Hybridschaltkreisen und integrierten Schaltkreisen
– Reduzierung von Wickelwiderständen in der Eingangsbrücke. In Abhängigkeit von der angestrebten Genauigkeit lassen sich bis auf den Kompensationswiderstand alle Widerstände durch Festwertwiderstände ersetzen.
– Verringerung von aufwendigen Abgleichpunkten, z. B. beim Abgleich mit Hilfe von Wickelwiderständen (Umwickeln)
– Ersatz von Chopper-Verstärkern durch driftarme Direktverstärker.

3.2. Tendenzen in der Technologie

Neben den seit längerem angewandten Verfahren zur automatisierten Leiterplattenbestückung findet man international Meßumformer in Modulbauweise. Bei Einsatz von Hybridschaltkreisen bietet sich eine solche Variante geradezu an. Ein noch technologisch bisher unzureichend gelöstes Problem ist die Herstellung von hochgenauen Widerständen im Bereich 0,01 ... 50 Ω mit einer Toleranz von 1 ‰ und einem *TK*-Wert ≦ 10 durch technologisch rationelle Methoden (keine Wickeltechnik). Hier wird es in den nächsten Jahren Veränderungen geben müssen.

3.3. Tendenzen bei den Gebrauchswerten

Zusammenfassend lassen sich hier nach Abschn. 1 folgende Gebrauchswertentwicklungen angeben:

– zusätzliche Grenzwertkontakte (Relaisausgang) zum analogen Ausgangssignal
– Parametermäßige Anpassung von Meßumformern an digitale Verarbeitungsstrecken (z. B. Zeitkonstanten)
– Aufbau von Automatisierungsstationen (problemorientierte Lösung von Automatisierungsaufgaben).

3.4. Tendenzen bei der Systementwicklung

Die Tendenz bei der Systementwicklung wird von der Vorstellung geprägt, komplette Systeme verfügbar zu haben. Hier sind die Anwender auch bereit, höhere Gerätepreise zu zahlen, um die Defizite der weniger gängigen Typen auszugleichen. Derartige MSR-Systeme sollten – ungeachtet der konstruktiven Varianten – enthalten :

– verschiedene Meßumformertypen (nach Genauigkeitsklassen gestaffelt)
– verschiedene Stromversorgungsgeräte
– Zusatzgeräte (Potentialtrenner, Sicherheitsbarrieren, Thermostat)
– Anzeigegeräte (analog, quasianalog, digital)
– Registriergeräte (Fallbügelpunktschreiber, Kompensationsbandschreiber)
– verschiedene Reglertypen (einschließlich Meßwerkregler)
– Stellverstärker
– Stellglieder.

Literatur

[1] TGL 0-43760 Widerstandsthermometer, 1. März 1961.
[2] TGL 0-43710 Thermoelemente, 1. Januar 1964.
[3] *Steudel, E.; Wunderer, P.:* Gleichstromverstärker kleiner Signale. Frankfurt/Main: Akademische Verlagsgesellschaft 1967.
[4] TGL 22500 System ursamat.
[5] *Wolf, R.; Fiedler, K.:* Eingangsbrücken zur Meßbereichsorganisation. msr 22 (1979) H. 2, S. 105 und 106; H. 3, S. 159 und 160; H. 4, S. 219 und 220.
[6] *Wolf, R.:* Einfluß der Schaltungsstruktur auf die Störspannungsunterdrückung bei elektrischen Meßumformern. msr 20 (1977) H. 12, S. 679 – 684.
[7] *Raatsch, P.-P.:* Elektrische Meßumformer mit galvanischer Trennung. Bericht, Institut für Regelungstechnik Berlin 1976.
[8] *Woschni, E.-G.:* Meßdynamik. Leipzig: S. Hirzel Verlag 1964.
[9] *Seibt, B.:* Ursachen der Temperaturdrift am Ringmodulator mit FET. Diplomarbeit, TH „Otto von Guericke" Magdeburg, Sektion 9, Bereich 4, 1974.

msr 6863

Dr.-Ing. U. Seidel, Dresden[1])

MSR-Instrumentierung mit dem pneumatischen Steuerungssystem DRELOBA (Teil II)

IA 4.0.2.2

4. Einsatzspektren und -aspekte

Bild 5 zeigt die Auftragssituation des DRELOBA-Steuerungsbaus in den letzten Jahren, gibt Auskunft über die wichtigsten Einsatzgebiete und stellt die Entwicklung der Seriensteuerungen dar.

Ausdruck dieser positiven Tendenz ist
- die Konsolidierung des Systems in wichtigen Zweigen der Volkswirtschaft und bei potentiellen Auftraggebern
- der hohe Serienanteil
- ein hoher Exportanteil an Steuerungen.

Zurückzuführen ist diese Entwicklung auf
- die in Tafel 6 dargestellten Eigenschaften des DRELOBA-Systems
- die Auswirkungen der gezielten Arbeiten zur Rationalisierung des Entwurfs
- die Bemühungen zur Entwicklung von Seriensteuerungen
- (Universalsteuerungen, Typensteuerungen, Steuergeräten und Problemlösungen)
- die Leistungsfähigkeit der Produktion
- das gewachsene Know-how.

Bemerkenswert ist, daß sich DRELOBA-Steuerungen besonders bei der Klein- und Mittelautomatisierung durchgesetzt haben (Bild 5c). Bei größeren Automatisierungsvorhaben, z. B. für Chemieanlagen und in der Nahrungsgüterwirtschaft, sind besondere Anforderungen zum Schutz gegen ungünstige Umgebungsbedingungen (Explosionsgefahr, Wasserdampf-, Säure-, Staubnebel, Störfelder usw.), die Verfügbarkeit der Steuerungen und die Steuerungskonzeptionen ausschlaggebend für den Einsatz des Systems (Abschn. 5).

5. Steuerungen – ausgewählte Beispiele

Abgeleitet aus den Schwerpunkten zur Steuerungsentwicklung [11] werden DRELOBA-Steuerungen eingeteilt in:
- Standardeinheiten
- Geräterealisierungen ausgewählter Funktionsbereiche und Steuerungsprobleme
- Universalsteuerungen mit großer Anpaßbarkeit an unterschiedliche technologische Prozesse
- Steuerungen mit großer Angepaßtheit an typisierte technologische Prozesse
- Steuerungen für Einzweckaufgaben und für die nachträgliche Automatisierung.

5.1. Steuergeräte

Um den Projektierungsaufwand für oft wiederkehrende Aufgaben zu senken, wurden problemorientierte Steuergeräte bereitgestellt, die in Serie produziert werden (Bilder 6 und 7).

Auch im Ergebnis der Arbeiten zur Steuerungsstandardisierung sind für die Realisierung der Funktionsbereiche Signalisierung und Alarmierung, Zähl- und Zeitwerke und Programmgeber universelle Steuergeräte abgeleitet worden [11].

Tafel 6. Eigenschaften des DRELOBA-Systems [13]

Versorgungsenergie (s. Tafel 2)	Arbeitsmittel	Luft, möglich aber auch Sauerstoff, Stickstoff, Erdgas
	Energiequelle	stationäre oder mobile Druckluft-erzeuger, Gasflaschen
	Verfügbarkeit	Notversorgung mit Druckbehältern leicht möglich
Signale, Übertragung	Einheitssignal	ja, durchgängig international
	Signalübertragung	$\leqq 200$ m
	Übertragungsgeschwindigkeit	< 300 m/s
	Leitungsverlegung	über größere Entfernungen größerer Aufwand
	Signalverarbeitungszeiten	$\leqq 5$ ms
Geräte	Funktionen	einfacher Aufbau mit wenig Grundelementen
	Baukastenprinzip	noch entwicklungsfähig
	Bausteinprinzip	durchgängig realisiert
	Standardisierung	komplexe Funktionseinheiten für alle Anwendungen
	Baugröße	noch Reserven für Minimierung vorhanden
	Sortiment	Reserven für Sortimentserweiterung bei peripheren Geräten
Steuerungen	Einsatz	in allen Industriezweigen (s. Bild 5)
	Charakter, Sortiment	Steuergeräte
		Universalsteuerungen typisierte Steuerungen
		Einzwecksteuerungen monoenergetische Steuerungen
		hybride Steuerungen
	Zentralisierung	Vorteile der dezentralen Anordnung bei monoenergetischem System
	Kopplung, EDV-Anschluß	über einfache Wandler gut möglich
	Standardisierung	standardisierte Entwurfsstrukturen, Funktionseinheiten, Funktionsbereiche
	Kosten	günstiges Preis-Leistungs-Verhältnis
Steuerungsbau	Beschaltung	Funktionseinheiten (schlauchlos)
	Gefäße	1. und 2. Ordnung sichern komplette Anpassung an Standard 3. Ordnung
	Fertigung	Klein- und Mittelserienfertigung für Steueranlagen und -geräte
Zuverlässigkeit	mittlere Lebensdauer	sehr gut (s. Tafel 3)
	Wartung	einfach, nahezu wartungsfrei
	Service	gut, durch übersichtlichen Aufbau, einfache Elemente und Strukturen
	Störquellen	unsaubere Hilfsluft
	Verschleißteile	mechanisch bewegte Teile nicht (Membranen)
Umgebungseinflüsse	Temperatur	auch bei Temperaturen < 0 °C und > 50 °C einsetzbar
	Luftfeuchte	unempfindlich
	„Industrieluft"	unempfindlich
	Rüttelschwingungen	unempfindlich
	elektromagnetische Störfelder	kein Einfluß
	Explosionsschutz	nicht erforderlich (außer E/P-, P/E-Wandler)

[1]) Teil I erschien im Heft 6/1979.

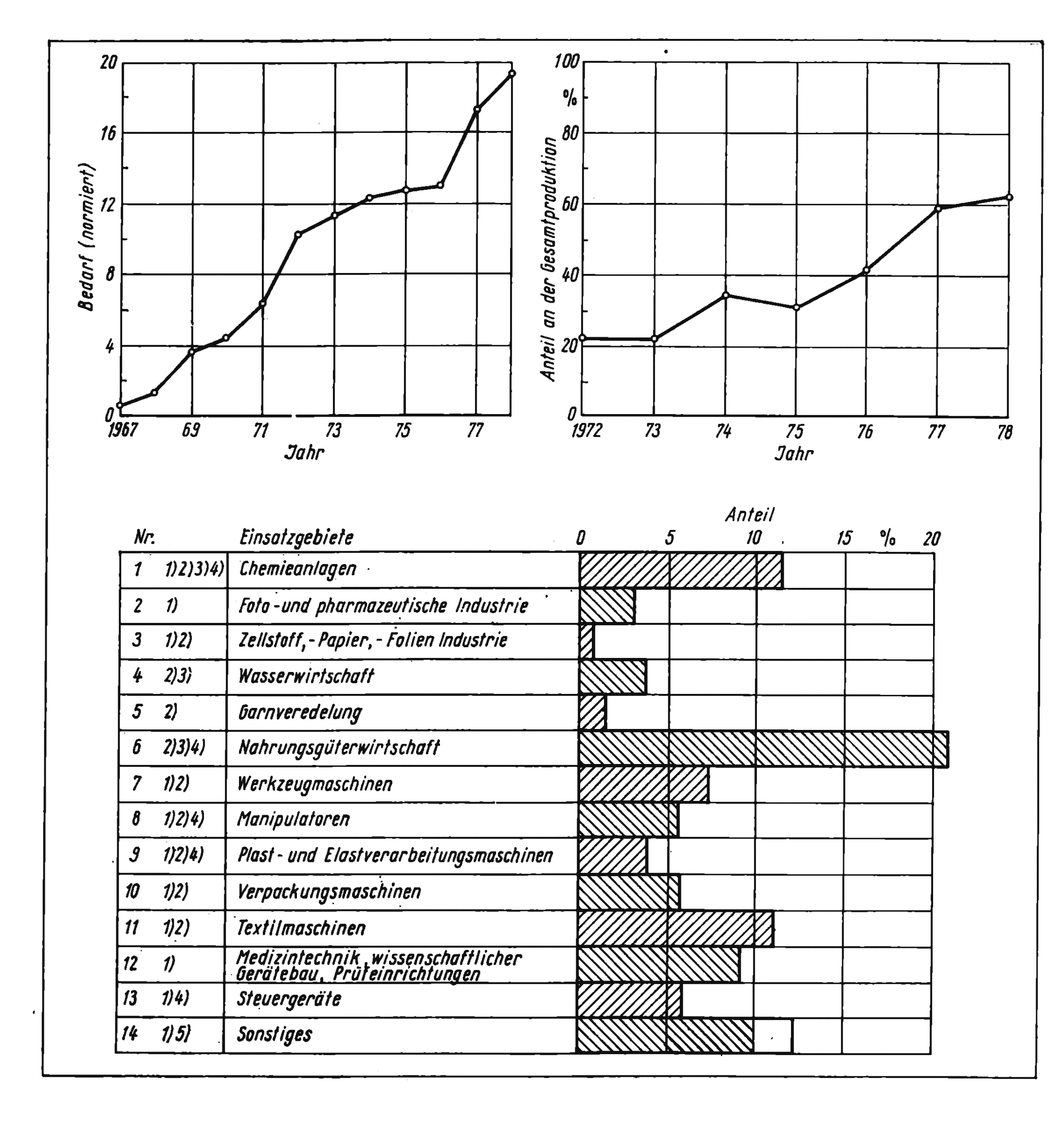


Bild 5
Entwicklung und Einsatzgebiete der DRELOBA-Steuerungen

a) Bedarfsentwicklung
b) Produktionsentwicklung der Seriensteuerungen im Verhältnis zur Gesamtproduktion
c) Einsatzgebiete und Verteilung (Mittelwert der Jahre 1976 bis 1978)

[1] großer Steuerungsumfang > 30 FE; [2] mittlerer Steuerungsumfang 10–30 FE; [3] kleiner Steuerungsumfang bis 10 FE; [4] Beispiel dazu im Abschn. 5; [5] Steuerungen für unterschiedliche Industriezweige, Baugruppen zur Komplettierung anderer Erzeugnisse; FE Funktionseinheiten gem. Bild 3

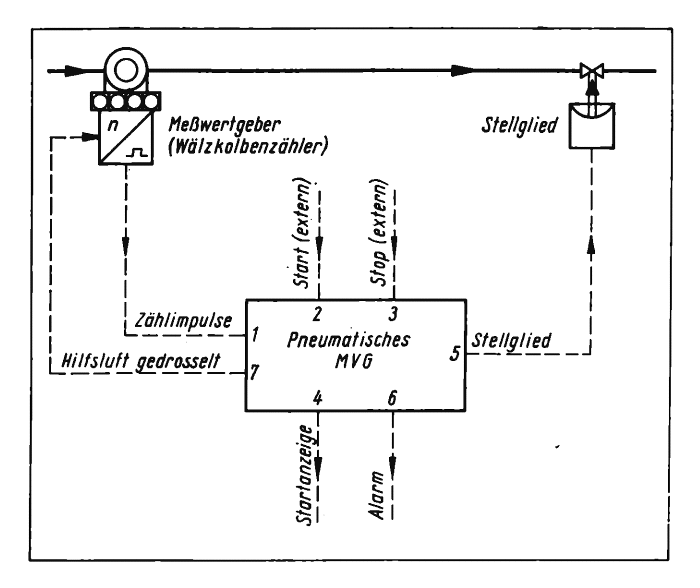
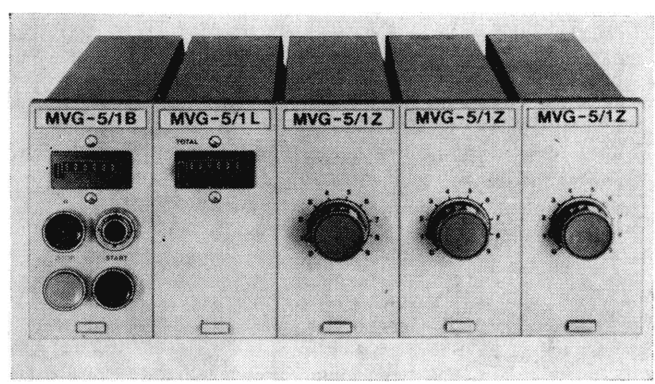


Bild 6. Mengenvoreinstellwerk (MVG) für die Warteninstrumentierung ◄

▼



5.2. Universalsteuerungen

Um die Umsetzung des funktionell-konstruktiv orientierten Entwurfsverfahrens in möglichst universelle Hardware-Lösungen zu finden, werden sog. Universalsteuerungen für die Prozeß- und Maschinenautomatisierung (Bild 8) bereitgestellt. Sie sind immer dann sinnvoll einsetzbar, wenn Wert auf die Einsparung von Projektierungszeit und -kosten, schnelle Verfügbarkeit und leichte Anpassung an unterschiedliche technologische Anlagen gelegt wird. Die Steuerungen sind projektunabhängig vorgefertigt und realisieren viele Zusatzaufgaben (Handbetrieb, Überwachung, Signalisierung, Leistungsverstärkung), die bei anderen Universalsteuerungen oft vermißt werden.

5.3. *Typensteuerungen*

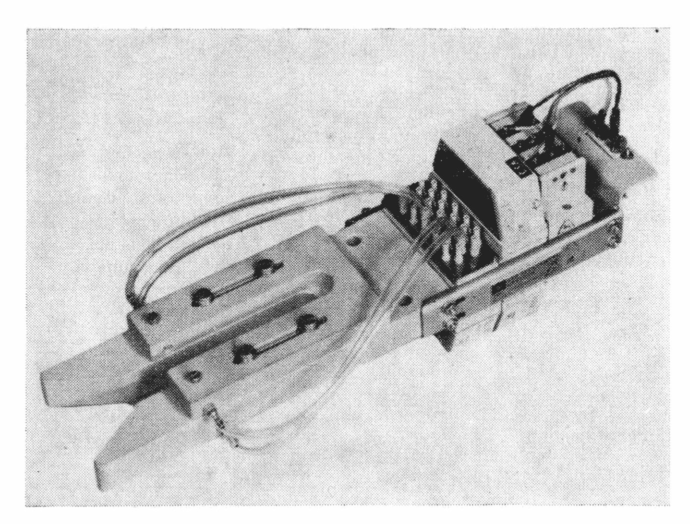
Die spezifischen Vorteile des DRELOBA-Systems führten zu guten Kooperationen von Anwender und Hersteller und damit zu einer Vielzahl von Steuerungen mit großer Angepaßtheit an typisierte technologische Prozesse (Typensteuerungen), die nun seit Jahren zu den stabilen Serienerzeugnissen des Systems zählen. Mit den folgenden Beispielen soll auf die sich bedingenden Komponenten — Typisierung der technologischen Anlage, Einsatzgesichtspunkte für das MSR-System, Steuerungsentwurf und -aufbau — aufmerksam gemacht werden.

Beispiel — DRELOBA-Steuerungen in der Molkereitechnik

Wichtige Gründe für den umfassenden Einsatz von DRELOBA-Steuerungen zur MSR-Instrumentierung von Molkereianlagen sind:

- Pneumatisch angetriebene Stelleinrichtungen werden in Molkereianlagen besonders wirtschaftlich eingesetzt und beeinflussen damit nachhaltig eine komplexe Automatisierung mit pneumatischen Mitteln.
- 45% der konventionellen MSR-Aufgaben sind Programmsteuerungsaufgaben und damit durch das DRELOBA-System vorteilhaft zu lösen (Tafel 7).
- Das System ist unempfindlich gegenüber den aggressiven Umweltbedingungen in Molkereibetrieben.

Dank der vorteilhaften Konzeption des Molkereianlagenbaus der DDR, die Teillinien einer komplexen Milchverarbeitungslinie zu standardisieren, ist die Serienentwicklung und -produktion von MSR-Anlagen für die automatische Steuerung von Tanklager, Milch- und Rahmlinien, Separatoren, Reinigungsanlagen und im Sonderfall auch Bierpasteurisationslinien möglich geworden. Bild 9 zeigt als Beispiel das technologische Schema der Tanksteuerung ST3, deren Aufgabe die Steuerung der Füll-, Entleerungs-, Reinigungs- und Rührprozesse für 2 Großtanks (Bild 10) ist. Aus der MSR-Stellenaufteilung wird erkennbar, daß die automatischen Programme in Abhängigkeit von Endlagerrückmeldungen der Absperrklappenknoten, den Füllständen in den Tanks und den Zuständen der im komplexen Betrieb verbundenen Teillinien gesteuert werden. Bild 11 zeigt die War-



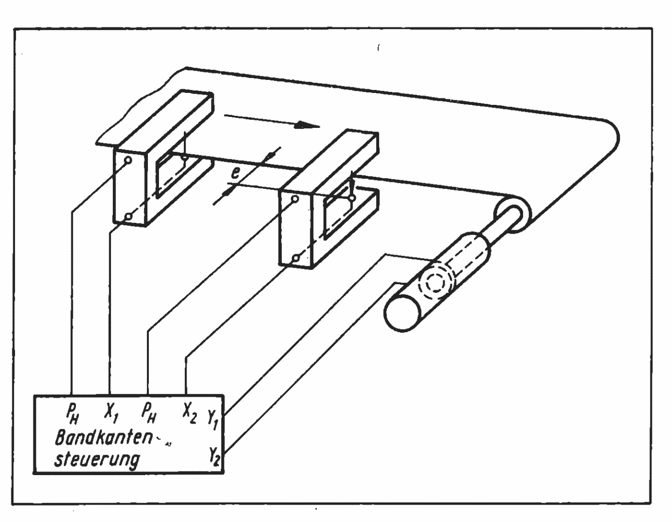
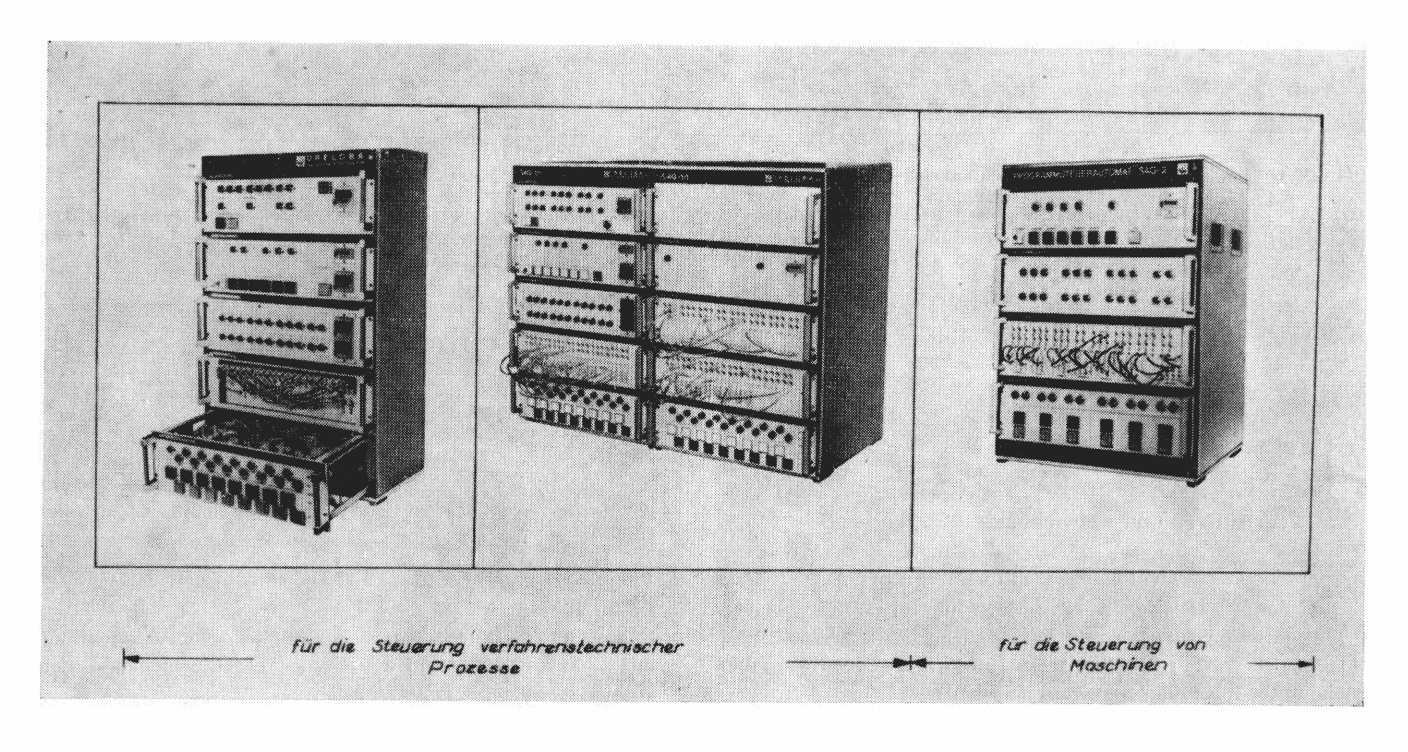


Bild 7. Bandkantensteuerung

Bild 8. Universalsteuerungen



Tafel 7. Quantifizierte Einteilung der MSR-Aufgaben an Milchverarbeitungslinien

Berechnungsbasis: Konventionelle MSR-Instrumentierung einschließlich Absperrklappen, Leitungen, Hilfsluftversorgung ohne Leistungssteuerung für Pumpen und Motoren

1) binäre Endlage, Handeingabe, Füllstand, Trennschicht, Temperatur, 2) E/P, P/E, Leistung, 3) Steuerung (Programm), 4) Stelleinrichtungen, Anzeigen

MSR-Aufgabe / Teilprozeß	Informationserfassung 1)	Informationswandlung 2)	Informationsverarbeitung 3)	Informationsausgabe und -nutzung 4)
Tanksteuerung	14 %	23,2 %	43,2 %	19,4 %
Tanklagersteuerung	9,7 %	17,7 %	47,3 %	25,3 %
Separatorsteuerung	4,5 %	10,8 %	79,3 %	5,4 %
Milchliniensteuerung	11,7 %	18,9 %	48,2 %	22,2 %
Rahmenliniensteuerung	13,5 %	20,9 %	45,2 %	20,4 %
Reinigungsanlage	14,1 %	15,3 %	46,0 %	24,6 %
Durchschnitt	10 %	18 %	52 %	20 %

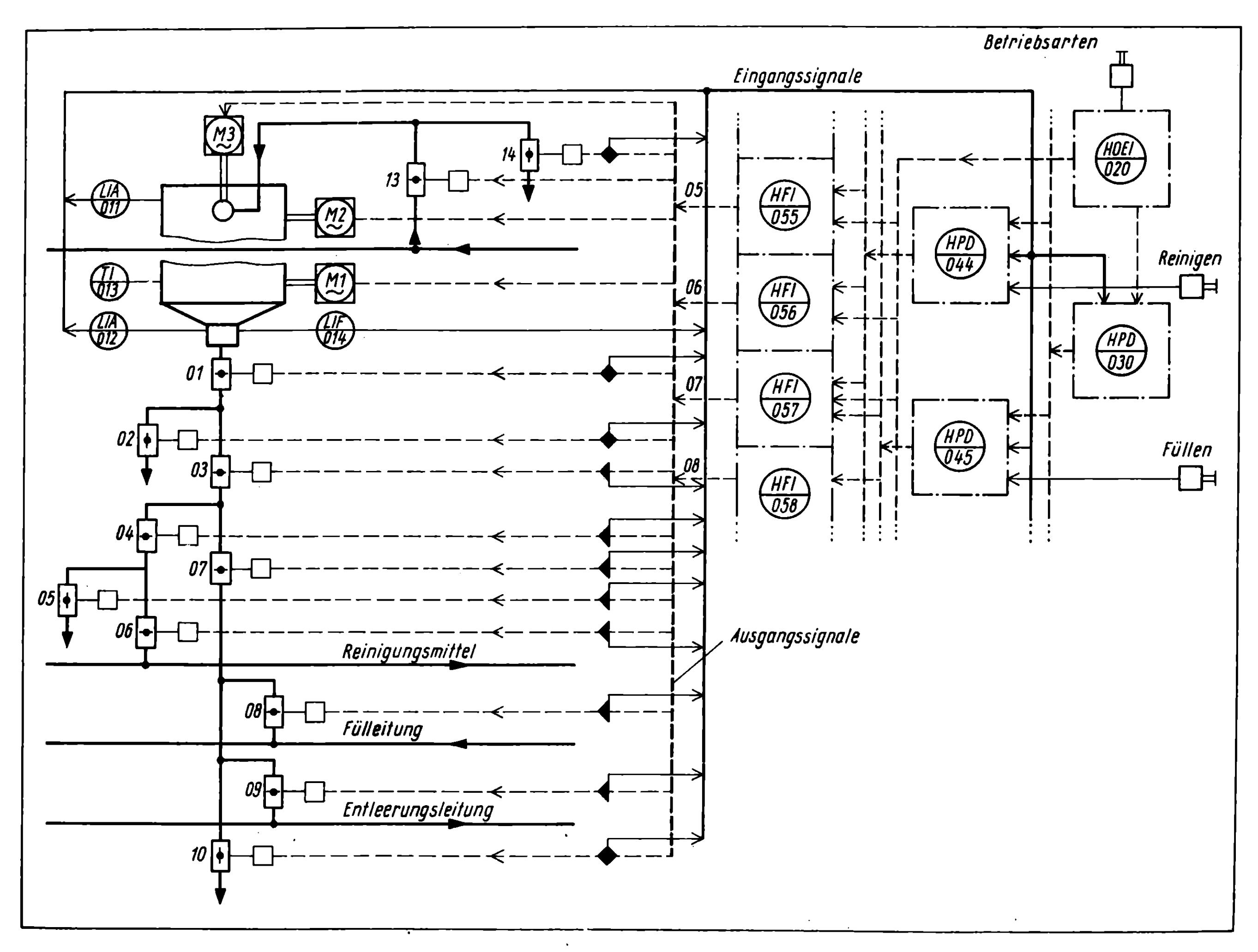


Bild 9. Technologisches Schema einer Milchtanksteuerung

HOEI-020 Zentraleinheit (Betriebsarten, Stop, Noteingriff, Signalisierung); HPD-030 Programmgeber (für übergeordnete Koordinierung); HPD-044 Programmgeber (Reinigung); HPD-045 Programmgeber (Füllen); ... HFI-055 Antriebssteuerung (für Klappe 05, Anzeige) ...

tenfront der Tanksteuerung ST3 in Verbindung mit der Separator- und Tanklagersteuerung.

Über weitere Beispiele informieren die Tafel 8 und die Bilder 12 bis 14.

6. Perspektiven und Entwicklungsaufgaben

Die Güte der Entwicklungskonzeptionen und der Aufwand an Entwicklungsinvestitionen bestimmen u. a. die Perspektiven eines Gerätesystems. Bezogen auf das DRELOBA-System sind die Perspektiven in der allseitigen Entwicklung der Systembereiche unter folgenden Aspekten zu sehen:

1. Es ist zu erwarten, daß die miniaturisierten elektronischen Schaltkreise, insbesondere die Mikroprozessoren, in einer Vielzahl von Steuerungssystemen eingesetzt werden. Das wird künftig auch für Gebiete der Anlagenautomatisierung zutreffen, die heute noch mit pneumatischen Mitteln instrumentiert werden. Das zwingt, alle Fragen um die Einsatzmöglichkeiten gemischter MSR-Systeme aus erweiterter Sicht zu beurteilen [16].
2. Pneumatische Systeme sind auf Grund ihrer Eigenschaften (Tafel 6) hervorragend für die Aggregatinstrumentierung (Klein- und Mittelautomatisierung) geeignet und werden damit auch ihren Platz in den Funktionsgruppenebenen hierarchischer Systeme behalten.

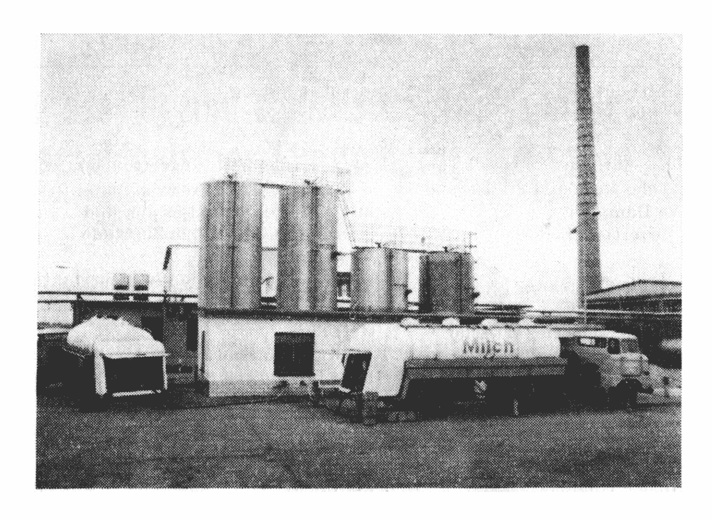




Bild 10. Tanklager der Molkerei Beeskow

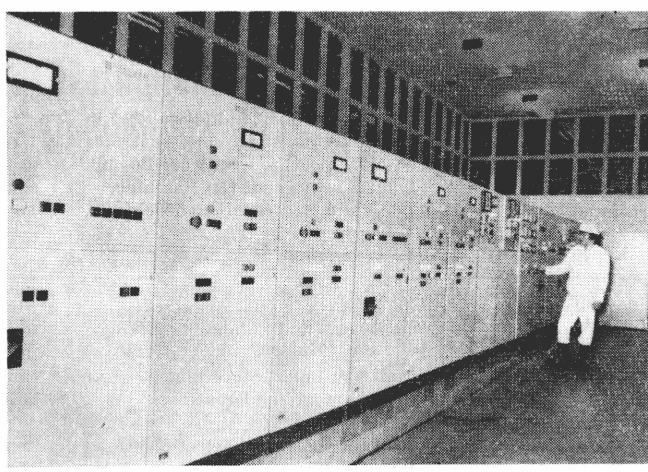
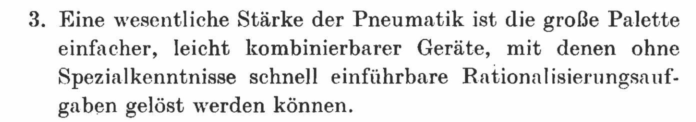


Bild 11. Tank-, Tanklager- und Separatorsteuerung (Wartenfront in der Molkerei Beeskow)



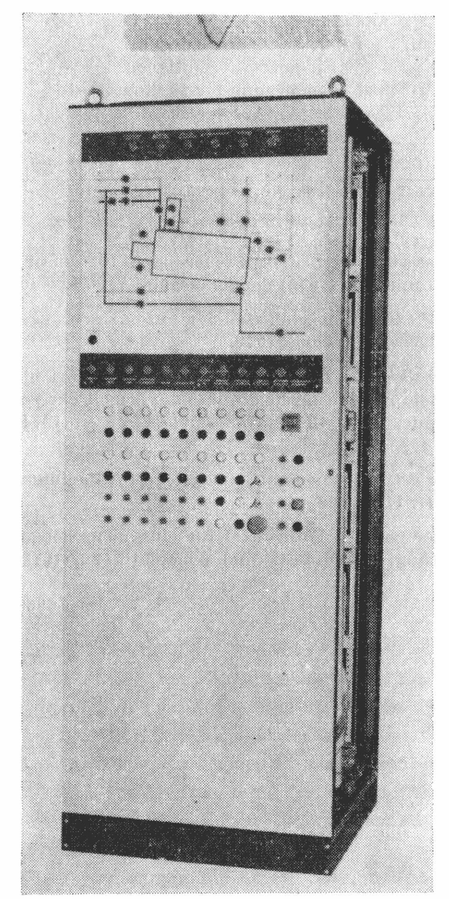


Bild 12. Teilsteuerung für Simplexmischer

3. Eine wesentliche Stärke der Pneumatik ist die große Palette einfacher, leicht kombinierbarer Geräte, mit denen ohne Spezialkenntnisse schnell einführbare Rationalisierungsaufgaben gelöst werden können.
4. Es gibt viele Aufgaben, für die die Pneumatik prädestiniert ist (besonders MSR-Aufgaben in Prozeßnähe, z. B. Meß- und Stellaufgaben, Transportieren mit Druckluft, Schutzbegasung usw.), und die eine komplexe Instrumentierung mit pneumatischen Mitteln nachhaltig beeinflussen.

Daraus sind folgende Aufgaben für die Weiterentwicklung des DRELOBA-Systems abzuleiten:

- Unifizierung der Eingabeperipherie; Sensoren für alle wesentlichen Meßgrößen mit direkter Ausgabe binärer Informationen im Einheitssignalbereich
- leistungsfähige Verstärker und Wandler zur direkten Systemanpassung insbesondere auch für Mikroprozessoren
- Verlagerung des Aufwandes zur Informationsverarbeitung in leicht handhabbare und unmittelbar verfügbare periphere Geräte (Wahlschalter, Programmgeber, Zeitwerke, Zähler)
- Entwicklung von Problemlösungen
- Qualifizierung der Konzeptionen zum Entwurf hybrider Systeme für die optimale Ausnutzung der Vorteile der Gerätesysteme

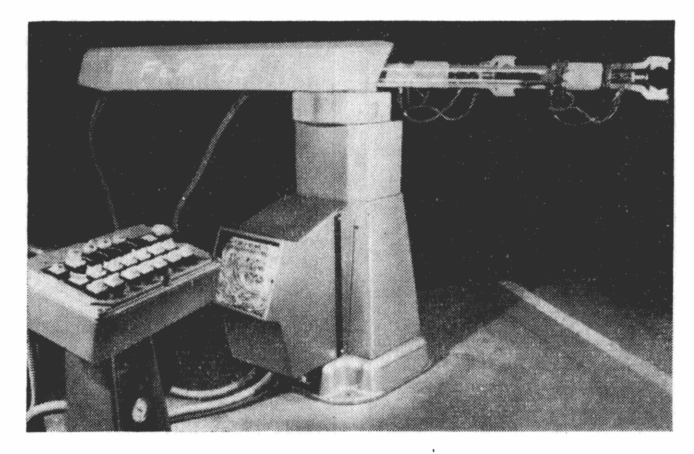


Bild 13. Manipulator FER 7,5 des Feingerätewerks Eger/Ungarische VR mit DRELOBA-Steuerung ROG-2/1

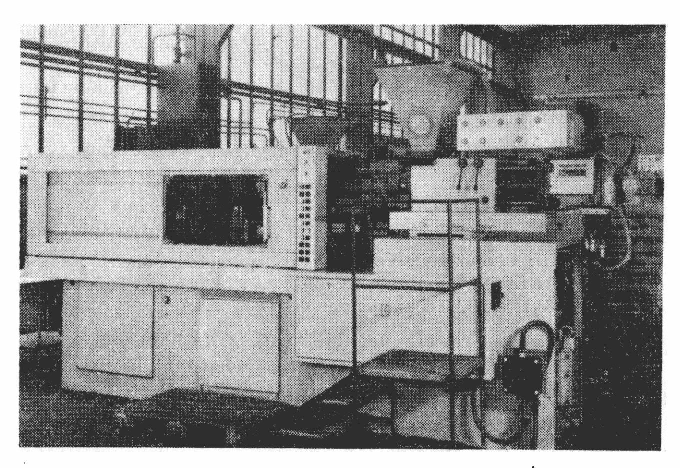


Bild 14. Spritzgießtiefziehmaschine mit DRELOBA-Steuerung

Tafel 8. Einige wichtige DRELOBA-Typensteuerungen

Beispiel	Kennzeichen/Technologie	Einsatzgesichtspunkte	Steuerungsumfang
Simplexmischer (Bild 12) [12] und [14]	– Teilprozesse sind: Sulfidierung, Viskoselösung und Homogenisierung – automatische Steuerung der Beschikkung Xanthogenat (X)-Maschine, Löse- und Homogenisiereinrichtung, Dosierung – Festprogramm	– Explosionsschutz – pneumatische Meß- und Stellorgane – aggressive Dämpfe – höchste Zuverlässigkeit	groß: – rd. 30 Stelleinrichtungen (binär) 5 Regelkreise, 10 Prozeßgrenzwerte mit Anzeige, Signalisierung und Alarmierung für > 20 Zustände – Programmumfang > 120 Steuertakte
Manipulatoren (Bild 13) [15]	– Steuerung von selbständig wirkenden Transport- und Zuführeinrichtungen – Punkt-zu-Punkt-Steuerung – flexibel programmierbar – Identifkations- und Meßaufgaben an Werkstücken	– wirtschaftliche monoenergetische Systeme (günstiges Preis-Leistungs-Verhältnis) – einfache Bedienung – höchste Zuverlässigkeit – miniaturisierte Elemente – übersichtliche Automatenstruktur	mittel: – bis 8 Stelleinrichtungen, davon bis 4 mit max. 8 Zwischenpositionen – bis 50 Steuertakte (bei Steckerfeldern) – anwählbare Maschinenbedingungen und Zeitwerke – Hand-, Halbautomatik- und Automatikbetrieb
Spritzgießtiefziehmaschine (Bild 14)	– Herstellung von Plasttrinkbechern – Steuerzyklus: 8 Becher in 5 s – Festprogramm – Teilprozesse sind: Werkzeug schließen, Einspritzen, Tiefziehen, Werkzeug öffnen und drehen, Steuerung der Stapeleinrichtung	– unempfindlich gegen Temperaturschwankungen, Rüttelschwingungen, Störfelder – ökonomische Anpassung an hydraulische und elektrische Steuer- und Regeleinrichtungen – Verfügbarkeit	mittel: – rd. 25 Stelleinrichtungen, 50 Eingangsinformationen – Festprogramm für 20 Steuertakte – Einricht-, Automatik-, 1 × Zyklus- und Tippbetrieb

– Auffinden von Entwurfsstrukturen und -verfahren für die flexible Anpassung an unterschiedliche technologische Aufgaben, insbesondere für kleine Steuerungsaufgaben und Ableitung von komplexen Funktionseinheiten
– Effektivierung der funktionell-strukturell-konstruktiven Methodik des Entwurfsprozesses unter den genannten Aspekten.

Heute ist abzuschätzen, daß sich die Anwendungsbreite des DRELOBA-Systems absolut vergrößern wird, wenn die genannten Entwicklungsaufgaben konsequent durchgesetzt werden.

Literatur

[1] *Töpfer, H.:* Entwicklungsstand und -tendenzen von pneumatischen Logikelementen und peripheren Geräten. msr 11 (1968) H. 8, S. 315 – 320.

[2] *Ferner, V.:* Der internationale Stand in der Pneumatik – ein auswertbares, dynamisches Problem. msr 11 (1968) H. 1, S. 19 – 22.

[3] *Töpfer, H.; Schrepel, D.; Schwarz, A.:* Pneumatische Bausteinsysteme der Digitaltechnik. Band 55 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1973.

[4] *Töpfer, H.; Schrepel, D.; Schwarz, A.:* Pneumatische Steuerungen. Band 62 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1973.

[5] *Jork, R.:* Zur Systematisierung von Projektierungsarbeiten. Wiss. Z. TH Ilemanu 21 (1975) H. 2, S. 75 – 98.

[6] *Göbel, W.:* Zuverlässigkeit des DRELOBA-Systems. msr 16 ap (1973) H. 4, S. 86.

[7] *Müller, R.; Starke, L.; Töpfer, H.:* Projektierung von Automatisierungsanlagen. Vortrag zur Jahrestagung der WGMA 1978.

[8] *Seidel, U.:* Strukturanalyse von Programmsteuerungen. Entwurf von DRELOBA-Standardeinheiten und Blocksynthese. msr 18 ap (1975) H. 9, S. 216 – 220.

[9] Richtlinie zur Projektierung mit DRELOBA-Standardeinheiten. Druckschriften des VEB Reglerwerk Dresden 1974 bis 1978.

[10] Richtlinie zur Erarbeitung der Technischen Dokumentation. Druckschrift des VEB Reglerwerk Dresden 1978.

[11] *Seidel, U.; Jork, R.; Gössel, G.:* Gesichtspunkte der systemorientierten Entwicklung pneumatischer Typensteuerungen und ausgewählte Beispiele. msr 21 (1978) H. 11, S. 645 – 649.

[12] Zweiseitiges Engagement – DRELOBA-Steuerungen für unsere politischen Partner. Impuls 16 (1976) Sonderausgabe A, S. 42 – 46.

[13] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Funktionseinheiten der Automatisierungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1977.

[14] *Libiszowska, E.; Kowalkiewice, L.; Wankowice, K.:* Zastosowanie strumieniowych elementow logicznych do automatyzaocji ckresowych procesow chemicznych. CHEMOAUTOMATIYKA (1974) S. 5 – 7.

[15] *Elek, I.; Gössel, G.; Seidel, U.:* Pneumatisch gesteuerte Manipulatoren. msr 21 (1978) H. 11, S. 628 – 633.

[16] Ölhydraulik und Pneumatik – Hilfsmittel für eine menschengerechte Arbeitsgestaltung. Ölhydraulik und pneumatik 22 (1978) H. 1, S. 29 – 31.

msr 6868

Prof. Dr.-Ing. habil. *W. Sauer*, Dresden, Dr.-Ing. *S. Geyler*, Zwickau, und Dipl.-Ing. *S. Keller*, Thurm[1])

Erfassung und statistische Analysen des Mengenverhaltens technologischer Stückgutprozesse sowie deren Einflußfaktoren

IA 4.0.5; 4.1.1

0. Einleitung

Anliegen des Beitrages ist die Untersuchung und vorteilhafte Beeinflussung technologischer Prozesse. In [10] wird dieses Ziel für die Wälzlagerindustrie mit ermutigenden Ergebnissen verfolgt. Dies geschieht durch:

- Registrierung von Zustandsfolgen mit den Merkmalen „Operator arbeitet" bzw. „Operator arbeitet nicht" und „Operator gestört" bzw. „Operator ungestört"
- Simulation der Prozeßabläufe mit Hilfe Markoffscher und Semi-Markoffscher Ketten und deren Auswertung
- Vorgabe der am Modell ermittelten günstigsten System- und Prozeßstruktur (Speicherkapazitäten, Vorräte, Betriebsstrategie).

Gegenüber der Registrierung von Zustandsfolgen ist die Erfassung von Erzeugnismengen sowie Störungsdauern und -ursachen in der Fertigung jedoch leichter durchzusetzen, da letztere Beobachtungsergebnisse ohnehin für die Abrechnung und Kontrolle benötigt werden.
Vielfach bleiben aber wesentliche Beziehungen und Abhängigkeiten der (geordneten) Erzeugnismengen, Störungsdauern und -ursachen unerforscht und ungenutzt, da die hierzu notwendigen statistischen Analyseverfahren noch nicht zum alltäglichen Arbeitsmittel des Technologen gehören.
Im folgenden werden zweckmäßige Wege zur Erfassung und statistischen Auswertung solcher Daten vorgestellt.

1. Ein spezielles Stückzahl- und Maschinenlaufdauer-Registriergerät

Zur Erfassung der Produktionsmengen, der Maschineneinsatzdauer und — bei Einsatz von Meßautomaten — der Ausschußstückzahlen ist häufig eine automatische Registriereinrichtung mit Ausgabe auf EDV-Datenträger bezüglich des Verhältnisses Aufwand zu Nutzen der Prozeßrechentechnik vorzuziehen. Das gilt insbesondere bei der Überwachung einfacher technologischer Prozesse (z. B. bei Einsatz von Einzweckautomaten oder bei geringem Montageanteil).
Deswegen wurde für einen Betrieb der Wälzlagerindustrie ein Registriergerät mit Lochstreifenausgabe entwickelt, das die Abfrage von maximal 1728 Zeichen je Zyklus gestattet [10]. Die hiermit erfaßten Daten dienen einer EDV-Anlage zur Berechnung des Produktionsfortschrittes und der Maschinenauslastungen. Das Signalflußbild dieser Registriereinrichtung ist im Bild 1 dargestellt.
Hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Anlage bereiten die verwendeten elektromechanischen Zählwerke (Typ ZLA) einige Schwierigkeiten. Der Einbau elektronischer abfragbarer Zählbausteine (z. B. U122D) ist empfehlenswert.

2. Bereitstellung zyklischer Dateien von Betriebsdaten

Unter dem Begriff zyklische Datei wird eine zeitlich geordnete Menge der über gleiche Produktionszeiträume aufgenommenen Prozeßinformationen vereinbart.

Diese Informationen sind:

x bearbeitete Stückzahl
j Störungsart
ds_j Dauer der Störung j
aknr Arbeitskraftnummer
wanr Werksauftragsnummer
t_z Endzeitpunkt des aktuellen Arbeitszeitraumes d
d die innerhalb einer Datei gleichbleibenden Arbeitszeitintervalle.

Die Erfassung dieser Informationen ist im Rahmen einer automatisierten Fertigungssteuerung möglich.
Da den Prozeßrechneraufgaben, die unmittelbar der Kontinuität des Produktionsprozesses dienen, jedoch höchste Priorität gebührt, ist die Erweiterung des Echtzeitprogrammsystems für diesen speziellen Zweck bei hoher Rechnerauslastung schwierig (Komplizierung des Programmsystems und seiner Abarbeitung). Im untersuchten Betrieb des Elektromaschinenbaus werden deshalb Informationen für die zyklische Datei mit Hilfe von bereits eingesetzten Programmen gewonnen und für konstante Arbeitsdauern d auf Lochstreifen ausgestanzt. Verwendet werden hierfür der Prozeßrechner KRS 4201 und das System daro 1690.

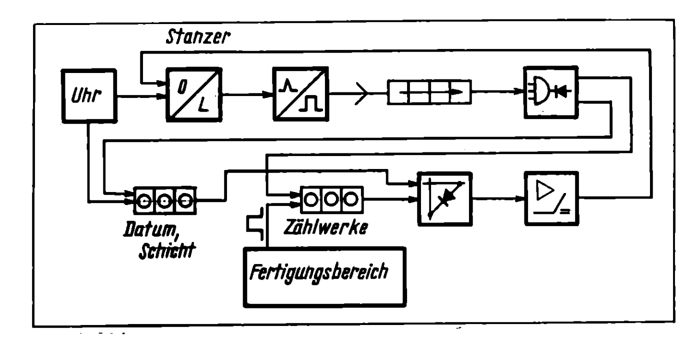


Bild 1. Registriergerät für Prozeßdaten

Fehler der Erfassung werden verursacht durch:

a) irrtümliche bzw. manipulierte Eingaben an Datenendstellen
b) gestörte Gerätetechnik
c) Verzögerung der Datenausgabe wegen Prozeßrechneraufgaben mit höherer Priorität, d. h. Überschreiten der Arbeitsdauer d
e) Informationsverluste

- Fehleranteil a) kann z. Z. nicht abgeschätzt werden.
- Fehleranteil b) liegt nach Reparaturbuchauswertungen bei rd. 1,5% aller Stichprobenelemente vor.
- Fehleranteil c) liegt bei max. 6% Abweichung von d für $d = 0{,}5$ h (es wird ein Ausgleich der Werte für x und für alle ds_j zwischen den jeweils aufeinanderfolgenden Dauern d vorgenommen).
- Fehleranteil e) umfaßt alle Störungen, deren Dauer < 5 min sind.

---

[1]) Mitteilung aus der TU Dresden, Sektion Elektronik-Technologie und Feingerätetechnik, der IH Zwickau und dem VEB Elektromotorenwerk Thurm.

3. Korrelationsanalyse von Stückzahlfolgen in Fertigungssystemen

Mit Hilfe der linearen Korrelationsanalyse von Stückzahlfolgen zweier gekoppelter Bearbeitungsstufen läßt sich feststellen, ob durch die Systemstruktur Störungen der einen Stufe die ungestörte Stufe zum Stillstand zwingen.

Handelt es sich beispielsweise um zwei verkettete Stufen mit Zwischenspeicher (Bild 2) und ist der Zwischenspeicher leer geworden, so zwingt ein Ausfall der Stufe St_j die folgende Stufe St_{j+1} zum Stillstand. Bei vollkommen gefülltem Zwischenspeicher kann während eines Ausfalls der Stufe St_{j+1} die vorhergehende Stufe St_j nicht mehr arbeiten, weil ihre Produkte keinen Platz finden.

In diesen beschriebenen Fällen, wenn also der Zwischenspeicherbestand eine Begrenzung erreicht hat, treten gleichsinnige Stückzahlschwankungen um die mittlere Stückzahl je Arbeitszeitintervall d auf.

Für die Korrelationsanalyse sind die Stückzahlerfassungszeitpunkte t_z so zu wählen, daß zwischen ihnen jeweils die gleiche Menge an Arbeitszeiteinheiten liegen.

Pausen, Wartungsdauern, Übergabezeiten und andere Zeiträume, in denen alle Stufen nicht arbeiten, müssen ausgeschaltet werden, weil sie durch die verursachten Stückzahlschwankungen korreliert sind und das Analyseergebnis verfälschen würden. Gemäß Bild 3 bedeuten:

$x_{j,k}$	Stückzahl der Stufe j im k-ten Intervall d
$\bar{x}_j$	mittlere Stückzahl je Intervall d in der Stufe j
k	laufende Nummer des Intervalls d
i	Nummer des Untersuchungszyklus
k_i	Nummer des ersten Intervalls d im Untersuchungszyklus i
$s_{j,i}(l)$	gleitende Summe von Stückzahlschwankungen bis zum l-ten Intervall d im Zyklus i bezüglich Stufe j
ab_j	Zwischenspeicherbestand zu k_i nach Stufe j
Δs_j	freie Speicherkapazität zu k_i nach Stufe j
Zyklen	Untersuchungszeiträume, zu deren Beginn gleiche ab_j und Δs_j vorliegen,

und es gilt:

$$s_{j,i}(l) = \sum_{k=k_i+l-c}^{k_i+l} (x_{j,k} - \bar{x}_j) \tag{1}$$

$$c, l \in N, \quad c < l,$$

$$s_{j,i}(l) \not\approx s_{j+1,i}(l) \quad \text{bei} \quad l < l_d \tag{2}$$

$$s_{j,i}(l) \not\approx s_{j+1,i}(l) \quad \text{bei} \quad l > l_d\,. \tag{3}$$

Solange der Zwischenspeicherbestand also gegen eine Begrenzung des Bestandes driftet, produzieren die Stufen j und $j+1$ unabhängig voneinander; nach Erreichen der Begrenzung bei l_d schwanken die Stückzahlen der Stufen jedoch weitgehend gleichsinnig.

Das ist nachweisbar mit dem linearen empirischen Korrelationskoeffizienten $\hat{r}$:

$$\hat{r} = \frac{\sum_{i=1}^{n} s_{j,i}(l) \cdot s_{j+1,i}(l)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} s_{j,i}^2(l) \cdot \sum_{i=1}^{n} s_{j+1,i}^2(l)}}, \tag{4}$$

wobei $E(s_{j,i}(l)) = 0$ die Berechnung von $\hat{r}$ vereinfacht. Gilt $\hat{r} < r(\alpha, m)$, so ist Unabhängigkeit und bei $\hat{r} \geqq r(\alpha, m)$ Abhängigkeit der Stückzahlschwankungen unter Berücksichtigung der Irrtumswahrscheinlichkeit α anzunehmen; denn mit dem zentralen Grenzwertsatz läßt sich nachweisen, daß die $s_{j,i}(l)$ asymptotisch normalverteilt sind (Bild 4).

$m = n - 2$; $r(\alpha, m)$ Tabellenwert aus [3].

Näherungsweise können nun erforderliche Zwischenspeicherbestände ab_j bzw. erforderliche freie Speicherkapazitäten Δs_j für den Zyklusbeginn berechnet werden, sofern z. B. das Driftende auf das feststehende Zyklusende kommen soll;

$$\frac{ab_j\,(\text{erforderlich})}{ab_j\,(\text{vorhanden})} = \frac{l_z}{l_d}, \tag{5}$$

wenn der Zwischenspeicher bei l_z leer ist, bzw.

$$\frac{\Delta s_j\,(\text{erforderlich})}{\Delta s_j\,(\text{vorhanden})} = \frac{l_z}{l_d}, \tag{6}$$

wenn der Zwischenspeicher bei l_z vollständig gefüllt ist.

Andererseits könnte im Interesse der vollen Nutzung der Stufenintensitäten auch das Zyklusende auf das Driftende zurückgelegt werden (Verkürzung des Zyklus unter Beibehaltung des bisherigen ab_j bzw. Δs_j).

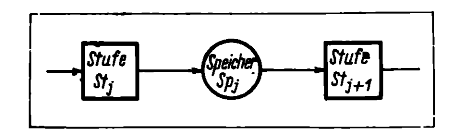


Bild 2. Teil einer Fertigungsreihe

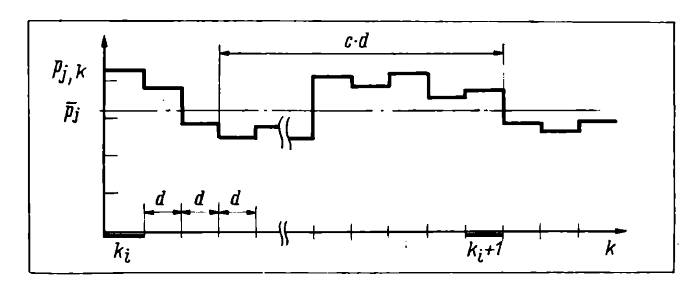


Bild 3. Erzeugnismengen $p_{j,k}$ als Zeitreihe über k dargestellt

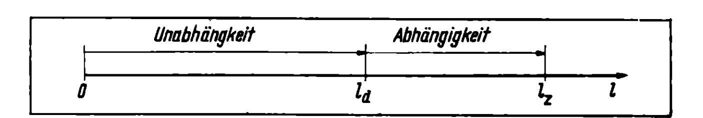


Bild 4. Darstellung eines Arbeitszyklus l_z

4. Untersuchung der Einflüsse verschiedener Faktoren auf das Produktionsergebnis

4.1. *Faktoren*

Es ist zweckmäßig, die Faktoren, die Einfluß auf die Produktionsergebnisse haben könnten, nach zwei Merkmalen zu unterteilen in:

a) autonome Faktoren, die sich ohne Einfluß des Menschen laufend verändern und die oft bei der Überwachung des Prozesses ohnehin erfaßt werden

b) gesteuerte Faktoren, die durch den Experimentator verändert werden müssen, deren Veränderungen i. allg. mit erheblichen Schwierigkeiten sowie mit personellem und materiellem Aufwand verbunden sind.

Zu den autonomen Faktoren gehören z. B. die zyklischen Faktoren

- Tageszeitabschnitt
- Wochentag
- Jahreszeit
- Abschnitt in der Abrechnungsperiode;

die durch den Produktionsplan bedingten Faktoren:

- Erzeugnisart

- Auftragsgröße (u. U. auch Element der Menge der gesteuerten Faktoren);

die durch die Arbeitskräftesituation bedingten Faktoren:

- Besetzung der Bedieneinrichtungen
- Besetzung der Instandhaltungs-Abteilungen.

Zur Menge der gesteuerten Faktoren zählen die zyklischen Faktoren:

- Maschinentaktzeit
- effektive Arbeitszeit je Schicht
- Instandhaltungsperiode
- Plan- bzw. Abrechnungszeitraum
- Versorgungsperioden für Material, Werkzeug, Hilfsstoffe und die strategischen Faktoren:
- Bedienregime (z. B. kollektive Mehrstellenarbeit; Reihenfolge der Inbetriebnahme nach Pausen und Schichtwechseln)
- Instandhaltungsregime (z. B. Prioritäten)
- Vorräte an Material, Bauteilen, Vorrichtungen, Werkzeugen, Lehren und Hilfsstoffen
- Auftragsgröße
- soziale Betreuung.

4.2. Analyse der Einflüsse autonomer Faktoren

Für die Analyse des Einflusses eines der oben definierten autonomen Faktoren in den Stufen bzw. Schattierungen $i = 1, 2, \ldots, p$ auf das Produktionsergebnis $x_{i,j}$ anhand von Stichproben mit gleichem Umfang r, d. h. $j = 1, 2, \ldots, r$, erweisen sich die multiplen Mittelwertvergleiche nach *Tukey* und *Scheffè* als vorteilhaft [1]:

- Tukey-Test zur Untersuchung einfacher Kontraste (s. unten)
- Scheffè -Test zur Untersuchung komplizierter Kontraste.

Der entscheidende Vorzug dieser Tests gegenüber anderen Verfahren beruht aus der Sicht der Prozeß-Technologen auf der Möglichkeit, damit Konfidenzintervalle für die zu untersuchenden Kontraste berechnen zu können.

Hierin zeigt sich ein Weg in Richtung der effektivsten Nutzung der Fonds.

Die Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der beiden Tests sind:

a) normalverteilte (oder asymptotisch normalverteilte) Grundgesamtheiten

b) gleiche Streuung der Grundgesamtheiten

c) gleiche Stichprobenumfänge r (eigentlich nur beim Tukey-Test erforderlich, jedoch im Interesse eines einfachen Prüfverfahrens zu b) stets zu empfehlen)

d) Kontraste L der Stichprobenmittelwerte (deutlich) ungleich Null.

Bedingung a) ist für die Untersuchung des Mengenverhaltens meist erfüllt; denn die Elementarereignisse, z. B. Bearbeitung eines Werkstücks während der Operationsdauer t_0, sind i. allg. unabhängig voneinander und $0-1$-verteilt.

Damit sind die Stichprobenelemente, die Summen $x_{i,j}$ der Elementarereignisse für den Arbeitszeitraum d, gemäß dem zentralen Grenzwertsatz asymptotisch normalverteilt [4].

Bedingung b) läßt sich für gleiche Stichprobenumfänge mit dem Cochran-Test prüfen.

Dabei ist zunächst die Testgröße $\hat{t}$ zu berechnen:

$$\hat{t} = \max \left\{ \frac{s_i^2}{\sum\limits_{j=1}^{p} s_j^2} \right\}. \tag{7}$$

$i = 1, 2, \ldots, p$, s^2 Streuung

Die Hypothese H, „die vorliegenden Streuungen sind gleich", wird abgelehnt, unter der Voraussetzung

$$\hat{t} \in \{t \mid t > C_{p,r-1;\alpha}\}. \tag{8}$$

$C_{p,r-1;\alpha}$ Tabellenwert aus [5]; α Irrtumswahrscheinlichkeit, d. h., Wahrscheinlichkeit dafür, daß H abgelehnt wird, obwohl H gilt.

Bedingung c) läßt sich stets erfüllen.

Bezüglich Bedingung d) ist dem Urteil des Untersuchenden ein sinnvoller Spielraum zu geben.

Kontrasten der Grundgesamtheitenmittelwerte μ

$$L = \sum_{i=1}^{p} c_i \mu_i \quad \text{mit} \quad \sum_{i=1}^{p} c_i = 0 \tag{9}$$

werden, wenn sie die einfache Form

$$L = c_i \mu_i + c_j \mu_j \quad (\text{z. B. mit } c_i = 1 \quad \text{und} \quad c_j = -1) \tag{10}$$

haben, durch den Tukey-Test kürzere Konfidenzintervalle zugeordnet als durch den Scheffè-Test.

Das Konfidenzintervall nach *Tukey* lautet:

$$\hat{L} - V \leqq L \leqq \hat{L} + V \tag{11}$$

mit $\hat{L} = \sum\limits_{i=1}^{p} c_i \bar{x}_i$, dem Kontrast der Stichprobenmittelwerte, und

$$V = \frac{1}{\sqrt{r}\,\sqrt{p(r-1)}} \sqrt{\sum_i \sum_j (x_{i,j} - \bar{x}_{i.})^2} \cdot \frac{1}{2} \sum_i |c_i| \times \times q(\alpha, p, p(r-1)) \tag{12}$$

$q(\alpha, p, p(r-1))$ Tabellenwert aus [2].

Haben Kontraste eine komplizierte Form (mehr als zwei c_i sind ungleich Null), so liefert der Schefè-Test schärfere Intervalle als der Tukey-Test.

Nach *Scheffè* wird folgendes Konfidenzintervall berechnet:

$$\hat{L} - W \leqq L \leqq \hat{L} + W \tag{13}$$

mit

$$W = \sqrt{(p-1)\,F(\alpha, p-1, p(r-1))} \times \times \sqrt{\left(\sum_i \sum_j (x_{i,j} - \bar{x}_{i.})^2\right) \cdot \frac{1}{p(r-1)} \sum_i - \frac{c_i^2}{r}}. \tag{14}$$

$F(\alpha, p-1, p(r-1))$ Tabellenwert aus der Tafel der F-Verteilung in [2].

4.3. Analyse der Einflüsse gesteuerter Faktoren

Bei einer Untersuchung der Einflüsse gesteuerter Faktoren muß der meist erhebliche personelle und materielle Aufwand für die Gewinnung der statistischen Daten aus dem technologischen Prozeß gesehen werden.

Mit der statistischen Versuchsplanung (SVP) ist es möglich, durch Verringerung der Versuchsanzahl den Aufwand im Vergleich zu anderen Analyseverfahren z. T. um mehr als 50% zu senken [9].

Das Prinzip der SVP ist die Kreuzklassifikation: Jede Stufe (im Optimalbereich) des einen Faktors wird mit jeder Stufe (im Optimalbereich) der anderen Faktoren kombiniert.

Die SVP variiert k Faktoren i. allg. jeweils in 2 Stufen. Damit werden die 2^k-Gesamtfaktorenpläne gebildet oder die hier nicht vorgestellten 2^{k-p}-Teilfaktorenpläne, die unter Verzicht auf die explizite Ermittlung von Wechselwirkungen zwar viele Versuche ersparen, jedoch auch zur Vermengung von Effekten führen.

Ergebnisse der SVP sind die sogenannten

- Haupteffekte und die
- Wechselwirkungseffekte.

Tafel. 2^4**-Gesamtfaktorenplan mit c Realisierungen (eingegrenzt ein** 2^3**-Gesamtfaktorenplan)**

j	f_1	f_2	f_3	f_4	x_{1j}	$x_{2j} \dots x_{cj}$
1	−1	−1	−1	−1	x_{11}	$x_{21} \dots x_{c1}$
2	+1	−1	−1	−1	x_{12}	$x_{22} \dots x_{c2}$
3	−1	+1	−1	−1	x_{13}	$x_{23} \dots x_{c3}$
4	+1	+1	−1	−1	x_{14}	$x_{24} \dots x_{c4}$
5	−1	−1	+1	−1	x_{15}	$x_{25} \dots x_{c5}$
6	+1	−1	+1	−1	x_{16}	$x_{26} \dots x_{c6}$
7	−1	+1	+1	−1	x_{17}	$x_{27} \dots x_{c7}$
8	+1	+1	+1	−1	x_{18}	$x_{28} \dots x_{c8}$
9	−1	−1	−1	+1	x_{19}	$x_{29} \dots x_{c9}$
10	+1	−1	−1	+1	x_{110}	$x_{210} \dots x_{c10}$
11	−1	+1	−1	+1	x_{111}	$x_{211} \dots x_{c11}$
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
16	+1	+1	+1	+1	x_{116}	$x_{216} \dots x_{c16}$

Ein Haupteffekt $\hat{E}_i, i \in \{1, 2, \dots, k\}$, stellt die Differenz zwischen dem Mittelwert aller Ergebnisse zur oberen Stufe von Faktor i und dem Mittelwert aller Ergebnisse zur unteren Stufe des Faktors i dar:

$$\hat{E}_i = 1/(c - 2^{k-1}) \sum_l \sum_j x_{l,j} \cdot f_i(j)\,. \tag{15}$$

Der Wechselwirkungseffekt $\hat{E}_{i1,\,i2}$ hat die Gleichung:

$$\hat{E}_{i1,\,i2} = 1/(c \cdot 2^{k-1}) \sum_l \sum_j x_{l,j} \cdot f_{i1}(j) \cdot f_{i2}(j)\,, \tag{16}$$

und für die Berechnung von $\hat{E}_{i1,\,i2,\,i3}$ gilt:

$$\hat{E}_{i1,\,i2,\,i3} = 1/(c \cdot 2^{k-1}) \cdot \sum_l \sum_j x_{l,j} \cdot f_{i1}(j) \cdot f_{i2}(j) \cdot f_{i3}(j) \tag{17}$$

mit $f_i(j)$ gemäß den Gln. (18) bis (21).

i Faktornummer

f_i Ersatzgröße des Faktors i

$$f_i = \begin{cases} +1 \text{ für obere Stufe,} \\ -1 \text{ für untere Stufe des Faktors } i \end{cases}$$

k Anzahl der Faktoren im Versuchsplan

j Versuchsnummer, $j \in \{1, 2, \dots, a\}$

l Nummer der Versuchsplanrealisierung, $l \in \{1, \dots, c\}$.

Entsprechend werden auch die Gleichungen für höhere Wechselwirkungseffekte aufgebaut.

Relativ hohe Werte für 3-Faktor- und 4-Faktor-Wechselwirkungen, insbesondere wenn Faktoren mit geringem Einfluß beteiligt sind, weisen auf Fehler in den Versuchsergebnissen $x_{l,j}$ hin, die durch Wiederholung der entsprechenden Versuche behoben werden können. Ursache können aber auch zu hohe Faktorstufen sein (Tafel).

Die Ersatzfaktoren $f_i(j)$ haben in 2^k-Gesamtfaktorenplänen also stets die Belegungen:

$$f_1(j) = (-1)^j \tag{18}$$

$$f_2(j) = \begin{cases} -1 \text{ für } j \in \{1/2n, 2 + 2n\} \\ +1 \text{ sonst} \end{cases} \tag{19}$$

$$f_3(j) = \begin{cases} -1 \text{ für } j \in \{1 + 4n, 2 + 4n, 3 + 4n, 4 + 4n\} \\ +1 \text{ sonst} \end{cases} \tag{20}$$

$$f_4(j) = \begin{cases} -1 \text{ für } j \in \{1 + 8n, 2 + 8n, \dots, 8 + 8n\} \\ +1 \text{ sonst} \end{cases} \tag{21}$$

mit $n \in \{0, 2, 4, \dots\}$
usw.

Zuverlässige Angaben über die Versuchsfehlerstreuung s^2 sind durch mehrfache (c-fache) Realisierung des Versuchsplanes zu gewinnen

$$s^2 = \frac{\sum_j \sum_l x_{l,j}^2 - \frac{1}{c}\left(\sum_j \sum_l x_{l,j}\right)^2}{a(c-1)}\,. \tag{22}$$

$j = 1, 2, \dots, a;\ l = 1, 2, \dots, c$

Für die Varianz eines Effektes gilt

$$s^2\,(\text{Effekt}) = \frac{4 s^2}{c \cdot a}\,. \tag{23}$$

Mit Hilfe dieser Versuchsfehlerstreuung kann für jeden Effekt E das Konfidenzintervall bestimmt werden:

$$U = t(\alpha, a(c-1)) \cdot \sqrt{s^2 \cdot 4/(c \cdot a)} \tag{24}$$

$t(\alpha, a(c-1))$ Tabellenwert aus der Tafel der t-Verteilung in [2]

$$\hat{E} - U \leqq E \leqq \hat{E} + U\,. \tag{25}$$

Anhand dieser Konfidenzintervalle für Effekte kann beurteilt werden, ob von anderen Faktorstufen in weiteren Realisierungen der SVP wichtige Ergebnisse zu erwarten sind bzw. ob dauerhafte Änderungen der gesteuerten Faktoren des technologischen Prozesses gerechtfertigt sind.

5. Untersuchung von Produktionsmengen und Störungsdauer mit Zeitreihenanalyseverfahren [7] und [8]

Die Kenntnis quantitativer Merkmale der nach der Zeit geordneten Fertigungsmengen und Störungsdauer, wie Trend, Streuung und periodische Schwankungen, kann für die Ermittlung von Einflußfaktoren bezüglich dieser Zeitreihen und für die Gestaltung der technologischen Prozesse nützlich sein.
Die Trends der Fertigungsmengen und der Störungsdauer haben eine obere Schranke k. Diese ist für die Fertigungsmengen durch die Grenzintensität der Fertigungsstufen und für die Störungsdauer durch die Gesamtarbeitszeit bestimmt.
Trends solcher Art werden gut durch die „logistische Funktion" (26) erfaßt

$$x_t = \frac{k}{1 + b \cdot e^{-at}}, \qquad k, a, b > 0\,. \tag{26}$$

In [6] dienen der Berechnung der Koeffizienten k und a zunächst die Beziehungen (27) und (28)

$$z_t = 1/x_t \tag{27}$$

$$z_{t+1} = (1 - e^{-a})/k + e^{-a} \cdot z_t\,. \tag{28}$$

Aus Gl. (28) sind dann die Ausdrücke $(1 - e^{-a})/k$ und e^{-a} mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate zu bestimmen. Der Koeffizient b folgt aus Gl. (29):

$$\ln(b) = a(N+1)/2 + \left(\sum_{t=1}^{N} \ln\left((k/x_t) - 1\right)\right) \Big/ N\,. \tag{29}$$

N Anzahl der Beobachtungen

Bei Kenntnis der Streuungen der hier betrachteten Zeitreihen ist es möglich, Bereiche anzugeben, in denen die Fertigungsmengen bzw. die Ausfallzeitanteile von Bearbeitungsstufen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit liegen. In den Zeitreihen

$$x_t = M_t + \varepsilon_t \tag{30}$$

ist M_t eine systematische, glatte Komponente und ε_t eine stochastische, annähernd normalverteilte Komponente mit dem Mittelwert Null und der Streuung σ^2.
Außerdem soll keine Autokorrelation in der Zeitreihe vorliegen. Diese Forderungen sind im vorliegenden Fall erfüllbar, indem die Erfassungsintervalle d nicht zu klein gewählt werden. Die Schätzung der unbekannten Streuung von ε_t läßt sich dann mit Hilfe der Variante-Difference-Methode vornehmen, wobei zunächst

die Differenzen zu berechnen sind

$$\left.\begin{aligned} x_t &= x_{t+1} - x_t \\ \Delta^2 x_t &= \Delta x_{t+1} - \Delta x_t \\ &\;\;\vdots \\ \Delta^k x_t &= \Delta^{k-1} x_{t+1} - \Delta^{k-1} x_t . \end{aligned}\right\} \quad (31)$$

Damit ergeben sich die Varianzen

$$V_0 = \frac{\sum_{t=1}^{N} x_t^2 - \left(\sum_{t=1}^{N} x_t\right)^2 \Big/ N}{N-1} \quad (32)$$

$$V_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (\Delta^k x_t)^2}{(N-k) \cdot \binom{2k}{k}} \quad \text{mit } k = 1, 2, 3, \ldots \quad (33)$$

Sobald die glatte Komponente durch die Differenzbildung eliminiert ist, zeigt sich die gesuchte Varianz von ε_t in

$$V_{k0} \approx V_{k0+1} \approx V_{k0+2} \approx \ldots , \quad (34)$$

während die Varianzen V_k, $k < k_0$, noch deutlich größer als V_{k0} sind. Ausführlich ist dieses Verfahren in [6] vorgestellt.

Zur Ermittlung und Schätzung sinusförmiger Komponenten,

a) deren Frequenzen nicht harmonisch zu $1/(N \cdot d)$ sind (N Anzahl der Beobachtungen)
b) die unregelmäßig auftreten und
c) die sich hinsichtlich Frequenz und Amplitude in den einzelnen Zeitabschnitten nur sehr grob wiederholen

ist die Spektralanalyse besser geeignet als die harmonische Analyse (Periodogramm) und auch besser als das Korrelogramm (eine Darstellung normierter Autokorrelationskoeffizienten $\gamma_k/\gamma_0 = E(x_{t+k} - \mu_{t+k})(x_t - \mu_t))/\sigma^2$ über der Abszisse k). Die drei Fälle a), b) und c) treffen für die meisten periodischen Vorgänge in technologischen Prozessen zu.

Voraussetzung für die Spektralanalyse ist die Stationarität der Zeitreihe. Liegt eine evolutionäre Zeitreihe vor, so kann durch Subtraktion der durch die Trendfunktion berechneten Werte eine stationäre Ersatzzeitreihe hergestellt werden. Es ist üblich, die Näherung $I(f)$ der Spektraldichte $p(f)$ nach Gl. (35) zu berechnen und $I(f)$ über f zu zeichnen

$$I(f) = 2\left(c_0 + 2 \sum_{k=1}^{N-1} c_k \cos 2\pi fkd\right), \quad 0 \leqq f \leqq \frac{1}{2d} \quad (35)$$

$$p(f) = \lim_{N \to \infty} E\, I(f) \quad (36)$$

$$c_k = \frac{1}{N-k-1}\left(\sum_{k=1}^{N-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+kd} - \bar{x})\right). \quad (37)$$

$k = 0, 1, 2, \ldots, d$ Abstand der Erfassungszeitpunkte; f Frequenz; N Anzahl der Beobachtungen, möglichst $\geqq 100$.

Deutliche Maxima der Spektraldichte zeigen die Frequenz und Intensität der periodischen Komponenten an.

Die Einflüsse der meisten oben angeführten zyklischen Faktoren lassen sich anhand einer einzigen Diagrammdarstellung von $I(f)$ erkennen. Auf diese Art kann vorteilhaft der Versuchsaufwand und die Anwendung multipler Mittelwertvergleiche sowie der SVP eingeschränkt werden.

Literatur

[1] Lexikon der Stochastik. Berlin: Akademie-Verlag 1975.
[2] *Weber, E.:* Grundriß der biologischen Statistik. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1972.
[3] *Storm, R.:* Wahrscheinlichkeitsrechnung mathematische Statistik und statistische Qualitätskontrolle. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1974.
[4] Operationsforschung Bd. 1. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1971.
[5] *Müller, P. H.; Neumann, P.; Storm, R.:* Tafeln der mathematischen Statistik. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1973.
[6] *Tintner, G.:* Handbuch der Ökonometrie. Westberlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag 1960.
[7] *Box, G. E. P.; Jenkins, G. M.:* Time series analysis forecasting and control. San Francisco: Cambridge/London/Amsterdam: Holden-Day 1970.
[8] *Bihn, W. R.:* Wandlungen in der statistischen Zeitreihenanalyse und deren Bedeutung für die ökonomische Forschung. Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik **180** (1967) S. 132–146.
[9] *Scheffler, E.:* Einführung in die Praxis der statistischen Versuchsplanung. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1974.
[10] *Schwansee, H.; Geyler, S.:* Automatische Registrierung von Stückzahlen und effektiven Arbeitsdauern. msr (in Vorbereitung).

msr 6780

Prof. Dr.-Ing. habil. *D. Hofmann*, Jena[1])

Einfluß additiver und multiplikativer Meßfehler auf die Genauigkeit von Temperaturmessungen

IA 3.2.3

0. Einleitung

Forschung, Entwicklung und Produktion fordern von der modernen Meßtechnik genauere, schnellere und zuverlässigere Meßgeräte. Bei der Meßfehleranalyse hat sich bewährt, den Gesamtfehler in die drei Komponenten systematischer, zufälliger und grober Meßfehler zu unterteilen [1] bis [12].

Gewöhnlich wird davon ausgegangen, daß die dem Meßsystem zugängliche Größe mit der gesuchten Meßgröße identisch sei. Häufig ist aber gerade diese vereinfachende Annahme nicht begründet [14], weil der Meßwert in der Umgebung der gesuchten Größe a (Bild 1) dem Meßmittel unzugänglich bleibt, z. B. die Mittentemperatur eines geglühten Werkstücks. Der Meßort in der Umgebung der erreichbaren Größe b ist dem Meßmittel prinzipiell zugänglich, z. B. die Ofeninnentemperatur. Hier muß aber beachtet werden, daß die Größe b nur bei Abwesenheit des Meßmittels vorhanden wäre. Durch Anwesenheit des Meßmittels (z. B. Thermoelement) wird b durch die Wärmeableitung zu b' verzerrt. Erst der erreichte Wert b' wird deshalb gewöhn-

[1]) Mitteilung aus der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Sektion Technologie für den Wissenschaftlichen Gerätebau.
Vortrag der 2. Internationalen Konferenz „Temperaturmessung" im Oktober 1978 in Prag.

lich mit der gesuchten Meßgröße x_e, die bei dieser Betrachtung als fehlerfrei gilt, gleichgesetzt.
Zwischen den Größen a bis f bestehen Differenzen, die als Meßfehler die Meßinformationsgewinnung nachteilig beeinflussen.
Für die Meßfehleranalyse der Größen a bis b' gibt es bisher keine allgemeingültigen erprobten Methoden.
Für die Meßfehleranalyse der Größen b' bis f erwies sich nachfolgende Methode als wirksam.

1. Einfluß multiplikativer Meßfehler auf das Meßergebnis

Gegeben sind ein Thermoelement, ein Thermostat, ein Drehspulinstrument sowie ein Strömungskanal mit Schieber (Bild 2, Tafel 1). Es soll eine sprungförmige Temperaturänderung gemessen werden.
Das Thermoelement hat eine statische Meßgrößenempfindlichkeit von

$$S_{\mathrm{Th}} = \frac{x_{\mathrm{aTh}}}{x_{\mathrm{eTh}}} = 0{,}05\ \mathrm{mV/K}\,. \tag{1}$$

Das Drehspulinstrument wurde für NiCr-Ni-Thermoelemente mit einer Empfindlichkeit von $S_{\mathrm{NiCr\text{-}Ni}} = x_{\mathrm{aTh'}}/x_{\mathrm{eTh'}} = 0{,}04\ \mathrm{mV/K}$ kalibriert [15] und hat deshalb die statische Empfindlichkeit

$$S_{\mathrm{D}} = \frac{x_{\mathrm{aD}}}{x_{\mathrm{eD}}} = \frac{x_{\mathrm{eTh'}}}{x_{\mathrm{aTh'}}} = 25\ \mathrm{K/mV}\,. \tag{2}$$

Sollen Temperaturänderungen trägheitsfrei und richtig durch das Drehspulinstrument angezeigt werden, dann ist die Sollübertragungsfunktion des Gesamtsystems Thermoelement plus Drehspulinstrument

$$S_{\mathrm{S}}(p) = 1\,\frac{\mathrm{K}}{\mathrm{K}} \tag{3}$$

zu fordern [16]. Das ist die Übertragungsfunktion für ein trägheitsfreies Proportionalglied mit dem Proportionalitätsfaktor 1.

Thermoelemente sind träge. Werden die dynamischen Eigenschaften des gesamten Systems (Thermoelement plus Drehspulinstrument — Bild 2, Tafel 1) nur durch das Thermoelement bestimmt — das soll hier vereinfachend angenommen werden —, dann ergibt sich folgendes dynamisches Verhalten des Meßsystems.

Die kugelförmige Meßstelle des Thermoelements hat eine konstante Temperatur ϑ_{K} und wird zur Zeit $t = 0$ sprungförmig einem Medium mit der konstanten Temperatur $\vartheta_{\mathrm{M}} > \vartheta_{\mathrm{K}}$ ausgesetzt. Die Temperaturänderung verläuft innerhalb der Kugel als Funktion der Zeit und des Orts nach einer Summe von Exponentialfunktionen mit unterschiedlichen Koeffizienten und negativen reellen Exponenten [17]. Ist der Radius der Kugel klein, ihre Wärmeleitzahl λ groß oder die Wärmeübergangszahl α klein, dann können in der Entwicklung alle Glieder höherer als 1. Ordnung vernachlässigt werden. Die Kugel erwärmt sich dann wie ein Trägheitsglied 1. Ordnung, und das Thermoelement liefert eine Ausgangsspannung von

$$x_{\mathrm{aTh}}(t) = \hat{x}_{\mathrm{aTh}}\left[1 - \exp\left(-\frac{3\alpha t}{c\varrho R}\right)\right]\mathrm{mV}\,. \tag{4}$$

c spezifische Wärme; ϱ Dichte; R Radius der Thermoelementkugel; x_{aTh} Ausgangsspannung im stationären Zustand
Gleichung (5) ist die Zeitkonstante des Thermoelements

$$\frac{c\varrho R}{3\alpha} = T\,. \tag{5}$$

Für $c = 5 \cdot 10^{-1}\ \mathrm{kJ/kg \cdot K}$; $\varrho = 1 \cdot 10^4\ \mathrm{kg/m^3}$; $R = 3 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m}$ und $\alpha = 100\ \mathrm{W/m^2 \cdot K}$ (bewegte Luft) beträgt die Zeitkonstante $T = 50\ \mathrm{s}$.

Die Ist-Meßgrößenübertragungsfunktion des Thermoelements lautet also [6]

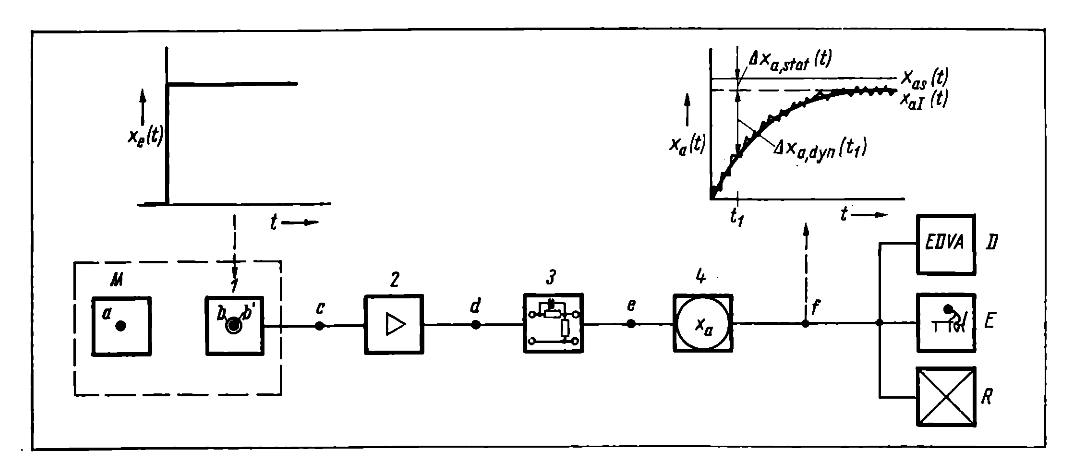
$$S_{\mathrm{ThI}}(p) = \frac{L\{x_{\mathrm{aTh}}(t)\}}{L\{x_{\mathrm{eTh}}(t)\}} = \frac{\hat{x}_{\mathrm{aTh}}/\hat{x}_{\mathrm{eTh}}}{1 + Tp} \tag{6}$$

Tafel 1. Wertetabelle der Meßreihen 1 bis 3

Nr.	x_{aI1}	x_{aI2}	x_{aI3}	x_{aI4}	x_{aI5}	x_{aI6}	x_{aI7}	x_{aI8}	x_{aI9}	x_{aI10}
1	22,56	22,65	22,35	22,53	22,47	22,59	22,40	22,57	22,45	22,48
2	22,45	22,53	22,48	23,49	22,51	22,47	22,65	22,35	22,40	22,57
3	20,01	20,15	19,85	20,03	19,97	20,09	19,90	20,07	19,95	19,98

Bild 1. Einfluß der Eigenschaften von Meßobjekt und Meßsystem auf den Meßfehler

1 Meßgrößenaufnehmer; *2* Anpasser; *3* Rechenglied; *4* Anzeiger; *D* Datenverarbeitung; *E* Meßperson; *M* Meßobjekt; *R* Regler; *a* gesuchte Größe; *b* erreichbare Größe; *b'* erreichter Wert; *c* aufgenommener Wert; *d* erfaßter Wert; *e* korrigierter Wert; *f* gemessener Wert; $x_e(t)$ Sprungeingangsgröße (Meßgröße); $x_a(t)$ Verlauf der Ausgangsgröße (Meßwert); $x_{as}(t)$ Verlauf der Sollausgangsgröße; $x_{aI}(t)$ Verlauf der Istausgangsgröße; $\Delta x_{a,\mathrm{stat}}(t_1)$ statischer Meßfehler zur Zeit $t = t_1$; $\Delta x_{a,\mathrm{dyn}}(t_1)$ dynamischer Meßfehler zur Zeit $t = t_1$



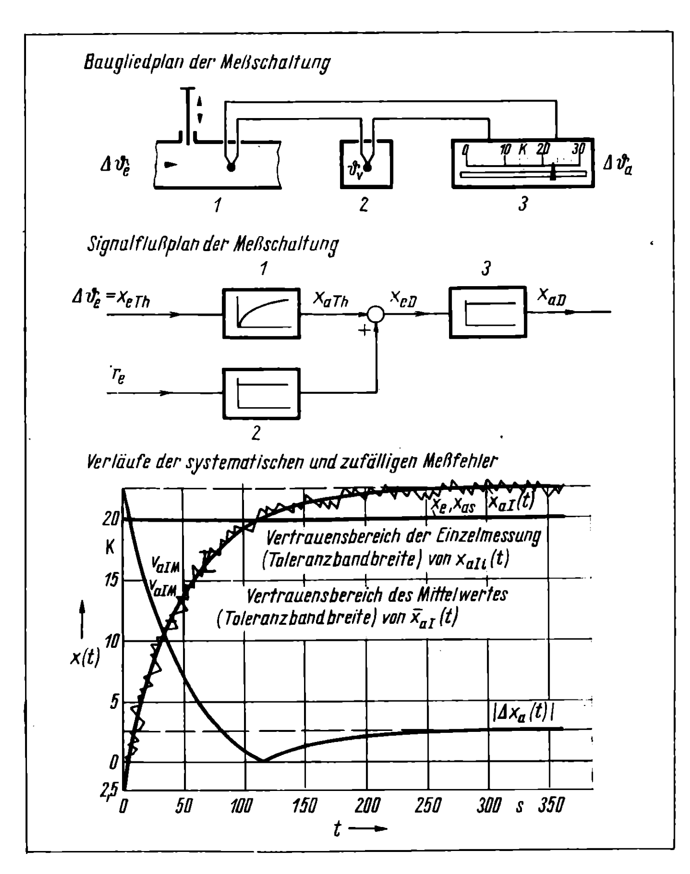


Bild 2. Verlauf systematischer und zufälliger Meßfehler bei Temperaturmessungen

Tafel 2. Korrespondenzen von Laplace-Transformierten ·

$\tilde{x}(p) = \int_0^\infty x(t)\, e^{-pt}\, dt,\ x(t) \equiv 0$ für $t < 0$

Nr.	$x(p)$	$x(t)$
1	$\frac{1}{p}$	$1(t)$
2	$\frac{1}{p-a}$	e^{at}
3	$\frac{1}{p(p-a)}$	$\frac{1}{a}(e^{at}-1)$
4	$\frac{1}{p(p+a)}$	$\frac{1}{a}(1-e^{-at})$
5	$\frac{1}{1+Tp}$	$\frac{1}{T}e^{-t/T}$
6	$\frac{1}{p(1+Tp)}$	$1-e^{-t/T}$
7	$\frac{1}{(1+T_1p)(1+T_2p)}$	$\frac{1}{T_1-T_2}(e^{-t/T_1}-e^{-t/T_2})$
8	$\frac{1}{p(1+T_1p)(1+T_2p)}$	$1-\frac{1}{T_1-T_2}(T_1e^{-t/T_1}-T_2e^{-t/T_2})$
9	$\frac{1+T_2p}{1+T_1p}$	$\frac{T_1-T_2}{T_1}e^{-t/T_1}$
10	$\frac{1+T_2p}{p(1+T_1p)}$	$1-\frac{T_1-T_2}{T_1}e^{-t/T_1}$
11	$\frac{(1+T_3p)}{(1+T_1p)(1+T_2p)}$	$\frac{1}{T_1-T_2}\left(\frac{T_1-T_3}{T_1}e^{-t/T_1}-\frac{T_2-T_3}{T_2}e^{-t/T_2}\right)$
12	$\frac{1+T_3p}{p(1+T_1p)(1+T_2p)}$	$1-\frac{1}{T_1-T_2}[(T_1-T_3)e^{-t/T_1}-(T_2-T_3)e^{-t/T_2}]$

mit (s. Tafel 2, Nr. 1 und 6)

$$\tilde{x}_{eTh}(p) = \frac{\hat{x}_{eTh}}{p}; \qquad \tilde{x}_{aTh}(p) = \frac{\hat{x}_{aTh}}{p(1+Tp)}$$

sowie

$$\hat{x}_{eTh} = \vartheta_M - \vartheta_K, \quad T = 50\ \text{s}$$

und

$$\hat{x}_{aTh}/\hat{x}_{eTh} = 0{,}05\ \text{mV/K}.$$

Die Ist-Übertragungsfunktion des gesamten Meßsystems aus Thermoelement und Drehspulinstrument lautet nach den Gln. (4) und (2) sowie Bild 2 und Tafel 1

$$S_{xI}(p) = S_{ThI}(p)\, S_D(p) = [1{,}25/(1+Tp)]\ \text{K/K}. \tag{7}$$

Die Eigenfehlerübertragungsfunktion $S_{FE}(p)$ [1] des Meßsystems hat nach den Gln. (7) und (3) die Form

$$S_{FE}(p) = \frac{S_{xI}(p)}{S_S(p)} - 1 = \left[\frac{1{,}25}{1+Tp} - 1\right]\text{K/K}. \tag{8}$$

Der absolute systematische Eigenfehler [1] und [18] des Meßsystems oder multiplikative Meßfehler [13] ist nach Gl. (8) im p-Bereich (komplexen Frequenzbereich)

$$\Delta\tilde{x}_{aE}(p) = S_{FE}(p)\ \tilde{x}_{aS}(p) = \left[\frac{1{,}25}{1+Tp} - 1\right]\frac{20\ \text{K}}{p} \tag{9}$$

mit $\tilde{x}_{aS}(p) = 20\ \text{K}/p$ wegen $\tilde{x}_{aS}(p) = S_s(p)\,\tilde{x}_{eS}(p)$ und $S_S(p) = 1\ K/K$ sowie $\tilde{x}_{eS}(p) = 20\ K/p$ für eine sprungförmige Temperaturänderung von beispielsweise $\vartheta_K = 50$ °C auf $\vartheta_M = 70$ °C; wobei $x_{eS} \equiv x_{eTh}$ ist.

Im t-Bereich (Zeitbereich hat der multiplikative Meßfehler [13] nach Gl. (8) und Tafel 2 (Nr. 1 und 6) den Verlauf

$$\Delta x_{aE}(t) = 5(1 - 5e^{-t/50s})\ \text{K}. \tag{10}$$

2. Einfluß additiver Meßfehler auf das Meßergebnis

Ein additiver Meßfehler tritt dadurch auf, daß die Temperatur der Vergleichsstelle nicht wie vorgeschrieben $\vartheta_v = 50$ °C, sondern $\vartheta_v^* = 52$ °C hat. Die Störgröße $\Delta x_{eF} = \vartheta_v - \vartheta_v^* = -2$ K erzeugt über der Vergleichsstelle, die die gleiche Temperaturempfindlichkeit wie die Meßstelle hat, d. h. $S_v = 0{,}05$ mV/K, die Gegenspannung

$$\Delta x_{aF} = S_v\, \Delta x_{eF} = -0{,}1\ \text{mV}.$$

Die Trägheit der Vergleichsstelle kann unberücksichtigt bleiben, weil die Temperatur der Vergleichsstelle bis zum Beginn des Meßvorgangs ihren stationären Wert erreicht hat und während des Messens konstant bleibt.

Der absolute systematische Fremdfehler [1] und [18] ist nach Bild 2 und Tafel 1 für die Kettenschaltung aus Vergleichsstelle und Drehspulinstrument mit der Empfindlichkeit S_D in Gl. (2)

$$\Delta x_{aF} = (-0{,}1\ \text{mV})\ 25\ \text{K/mV} = -2{,}5\ \text{K}. \tag{11}$$

3. Einfluß systematischer Meßfehler auf das Meßergebnis

Der absolute systematische Meßfehler setzt sich additiv aus dem Eigenfehler (multiplikativer Meßfehler) und dem Fremdfehler (additiver Meßfehler) zusammen [1], so daß sich mit den Gln. (10) und (11) endgültig ergibt

$$\Delta x_{aI}(t) = \Delta x_{aE}(t) + \Delta x_{aF} = 2{,}5\,(1 - 10\,e^{-t/50s})\ \text{K}. \tag{12}$$

Bei einem Temperatursprung am Thermoelement von 50 °C auf 70 °C wird am Drehspulinstrument statt des „wahren" Verlaufs

$x_{aS}(t) = 20$ K für $t > 0$ der Verlauf

$$x_{aI}(t) = x_{aS}(t) + \Delta x_{aI}(t) = [20 + 2{,}5\,(1 - 10\,e^{-t/50s})]\ \text{K} \tag{13}$$

vorgetäuscht. Für $t \gg T$ stellt sich ein stationärer Wert von 22,5 K ein (Bild 2, Tafel 1).

4. Einfluß zufälliger Meßfehler auf das Meßergebnis

Zufällige Meßfehler entstehen z. B. durch parasitäre regellose Störfelder, die in den unabgeschirmten Drähten der Thermoelemente stochastische Störspannungen induzieren. Damit schwankt der Verlauf der Ausgangsgröße regellos um den ungestörten Verlauf nach Gl. (13).

Im stationären Zustand ($t \gg T$) wurden für wiederholte Messungen Meßwerte wie in Tafel 1 ermittelt.

Wird Meßreihe 1 zugrunde gelegt, so ist der arithmetische Mittelwert

$$\bar{x}_{aI} = \left(\sum_{i=1}^{10} x_{aIi}\right)\Big/ 10 = 22{,}5\ \text{K}\,. \tag{14}$$

Die Standardabweichung beträgt

$$s_{aI} = \sqrt{[\Sigma(x_{aI1} - \bar{x}_{aI})^2]/9} = 0{,}09\ \text{K}\,. \tag{15}$$

Der Vertrauensbereich der Einzelmessung [3] lautet für die statistische Sicherheit $P = 95\%$ und $n = 10$ Meßwerte

$$v_{aIE} = \pm a k_1 s_{aI} = 1{,}96 \cdot 1{,}65 \cdot 0{,}09\ \text{K} = 0{,}29\ \text{K}\,. \tag{16}$$

Der Vertrauensbereich des Mittelwertes [3] hat für die statistische Sicherheit $P = 95\%$ und $n = 10$ Meßwerte die Breite

$$v_{aIM} = \pm s_{aI} t/\sqrt{n} = \pm 0{,}715 \cdot 0{,}09\ \text{K} = \pm 0{,}064\ \text{K}\,. \tag{17}$$

Die nicht erfaßten systematischen Meßfehler $f_{a\Sigma}$ sollen für das Meßsystem im Bild 2 Null sein.

5. Bildung des vollständigen Meßergebnisses

Das vollständige Meßergebnis setzt sich aus allen bisher errechneten Komponenten zusammen, und zwar ist der gesuchte Sollwert x_{aS} der Ausgangsgrößen

– für den Einzelmeßwert

$$x_{aSE} = x_{aIi} - \Delta x_{aI} \pm (a k_1 s_{aI} + f_{a\Sigma})$$

und ergibt beispielsweise für x_{aI1} mit den Gln. (12) und (16)

$$x_{aSE} = [22{,}56 - 2{,}5(1 - 10\,e^{-t/50s}) \pm 0{,}29]\ \text{K} \tag{18}$$

– für den Mittelwert

$$x_{aSM} = \bar{x}_{aI} - \Delta x_{aI} \pm \left(\frac{t}{\sqrt{n}} s_{aI} + f_{a\Sigma}\right)$$

und ergibt mit den Gln. (12) (14) und (17)

$$x_{aSM} = [22{,}5 - 2{,}5\,(1 - 10\,e^{-t/50s}) \pm 0{,}064]\ \text{K}\,. \tag{19}$$

Zur Wertetabelle in Tafel 1 ist zu bemerken, daß in Meßreihe 2 der Meßwert $x_{aI4} = 23{,}49$ K vermutlich einen groben Meßfehler darstellt. Die Anwendung des Ausreißerkriteriums [3] besagt: Wenn [23,49 K – 22,5 K] > 4,42 · 0,09 K ist, dann Ausschluß von x_{aI4}. Wegen 0,99 K > 0,4 K wird die Annahme bestätigt.

Vor Aufnahme der Meßreihe 3 in Tafel 1 erfolgte eine Korrektur. Im vorliegenden Fall wurde die Vergleichsstellentemperatur ϑ_v auf 50 °C eingestellt und die Skale des Drehspulinstruments mit einer Teilung von 25 K/mV durch eine Skale mit der Teilung 20 K/mV ersetzt. Durch diese Maßnahmen erfolgte eine hundertprozentige Korrektur der statischen Meßfehler. Die Korrektur der dynamischen Meßfehler wurde an anderer Stelle ausführlich behandelt [17] [19] und [20].

Zusammenfassung

Die Meßfehleranalyse ist ein wesentlicher Bestandteil des Meßprozesses. Wachsende Anforderungen müssen an die exakte Behandlung systematischer und zufälliger, additiver und multiplikativer, statischer und dynamischer Meßfehler gestellt werden. Deshalb sind für eine relativ einfache Temperaturmeßaufgabe die einzelnen Fehlerursachen und -wirkungen sowohl errechnet als auch anschaulich interpretiert worden.
Die angegebene Methode ist allgemeingültig und auf andere Meßaufgaben übertragbar.

Literatur

[1] *Hofmann, D.:* Meßfehleranalyse linearer Meßsysteme. msr **12** (1969) H. 8, S. 325 – 330, und H. 9, S. 353 – 357.
[2] *Hofmann, D.:* Zur systematischen Auswertung von Messungen in der Labor-, Fertigungs- und Prozeßmeßtechnik. Wiss. Zeitschrift der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Math.-Nat. R. **23** (1974) H. 6, S. 991 – 1000.
[3] *Hultzsch, E.:* Ausgleichsrechnung mit Anwendungen in der Physik. 2. Aufl. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K. G. 1971.
[4] *Kemnic, Ju. V.:* Teorija ošibok izmerenij (Theorie der Meßfehler). 2. Aufl. Moskau: Izd. Nedra 1967.
[5] *Zajdel, A. A.:* Elementarnye ocenki ošibok izmerenij (Elementare Bewertung der Meßfehler). 2. Aufl. Leningrad: Izd. Nauka 1967.
[6] *Burdun, G. D.; Markov, B. N.:* Osnovy metrologij (Grundlagen der Metrologie). Moskau: Izd. Standartov 1972.
[7] *Capenko, M. P.:* Izmeritel'nye informacionnye sistemy (Meßinformationssysteme). Moskau: Izd. Energija 1974.
[8] *Ivancov, A. I.:* Osnovy teorii točnosti izmeritel'nych ustrojstv (Grundlagen der Theorie der Genauigkeit von Meßgeräten). Moskau: Izd. Standartov 1972.
[9] *Fritz, W.; Pohleck, H.:* Über die Fehler beim Messen und die praktische Beurteilung von Meßergebnissen. ATM J 021-12 (1965) 12, 14.
[10] *Meyer, Hg. W.:* On Analysis of Errors and Interference (Analyse von Fehlern und Störungen). In Proceedings of the IMEKO Colloquium on "The Nature and Scope of Measurement Science" London 1975. Published by IMEKO Sekretariat Budapest 1976.
[11] Proceedings of the IMEKO-Symposium on "Measurement Theory-Measurement Error Analysis" held at the Twente Univ. of Technology 1975 Enschede. Published by IMEKO Sekretariat Budapest 1976.
[12] *Rabinovič, S. G.:* Pogrešnosti izmerenij (Meßfehler). Leningrad: Izd. Energija 1978.
[13] *Novickij, P. V.:* Električeskie izmerenija neelektričeskich veličin (Elektrische Messung nicht elektrischer Größen). 5. Aufl. Leningrad: Izd. Energija 1975.
[14] *Moffat, R. J.:* The Measurement Chain and Validation of Experimental Measurement (Die Meßkette und die Aussagekraft von experimentellen Messungen). Measurement and Instrumentation. ACTA IMEKO (1973) S. 45 – 53. Budapest: Akadémiai Kiadó 1974.
[15] *Hofmann, D.:* Temperaturmessungen und Temperaturregelungen mit Berührungsthermometern. Berlin: VEB Verlag Technik 1977.
[16] *Hofmann, D.:* Handbuch Meßtechnik und Qualitätssicherung. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.
[17] *Hofmann, D.:* Dynamische Temperaturmessung. Berlin: VEB Verlag Technik 1976.
[18] *Dobrynin, E. M.; Pan Čzun Čzen:* Voprosy dinamičeskoj točnosti priborov avtomatičeskogo kontrolja rasmerov (Fragen der dynamischen Genauigkeit von Geräten zur automatischen Längenmessung). Moskau: Masgiz 1963.
[19] *Hofmann, D.:* Zur elektrischen Korrektur des dynamischen Verhaltens von trägen Meßwandlern. msr **10** (1967) H. 1, S. 20 – 27.
[20] *Hofmann, D.:* Erhöhung der Genauigkeit von Meßsystemen mittels Korrektur. ACTA IMEKO 1970 Prepint. Budapest: IMEKO-Sekretariat 1970.

msr 6828

Doz. Dr.-Ing. *J. Weber*, Rostock-Warnemünde[1])

Thermoelement-Hitzdrahtanemometer zur Grenzschichtmessung bei freier Konvektion in Flüssigkeiten

IA 3.2.3

0. Einleitung

Der Transport flüssiger Medien in den Vorrats- und Ladetanks von Schiffen erfordert in den meisten Fällen eine Beheizung. Der damit verbundene Vorgang der Wärmeübertragung ist auf die Grundform der freien Konvektion zurückführbar. Daraus resultiert das Erfordernis, durch theoretische und experimentelle Untersuchungen der wandnahen Schichten wärmeübertragender Körper die Kenntnisse über den Mechanismus der Wärmeübertragung bei dieser Strömungsform zu erweitern und für die Dimensionierung wärmetechnischer Anlagen abgesicherte Unterlagen bereitzustellen. Nachfolgend wird ein direkt beheiztes Thermoelement-Hitzdrahtanemometer beschrieben, das zur punktweisen Messung der Temperatur- und Geschwindigkeitsfelder vor wärmeabgebenden Körpern in Flüssigkeiten verwendet werden kann.

1. Meßprinzip

Eine Versuchstechnik zur punktweisen Messung der geringen Geschwindigkeiten in der wandnahen Schicht wärmeabgebender Körper bei freier Konvektion wurde erstmalig von *Schmidt* und *Beckmann* [1] angewendet. Sie ermittelten das Geschwindigkeitsfeld der laminaren Luftströmung vor einer vertikalen geheizten Platte mit Hilfe des sogenannten Quarzfadenanemometers. Zur punktweisen Messung der Temperaturen in den Feldpunkten der Grenzschicht dienten dünndrahtige Thermoelemente.

Dieses auch in der Folgezeit vorteilhaft zur Geschwindigkeitsmessung in thermischen Luftströmungen verwendete Quarzfadenanemometer kann zur Bestimmung lokaler Geschwindigkeitsprofile in Flüssigkeiten nicht zum Einsatz gebracht werden. Ein Strömungsmeßgerät, dessen Einsatz für diesen Anwendungsfall in Betracht gezogen werden kann, ist das Hitzdrahtanemometer.

Die Vorteile derartiger Meßgeräte beruhen auf den geringen Abmessungen der Drahtsonden, die eine Störung der Strömung nahezu ausschließen und Messungen in Strömungen mit steilen Geschwindigkeitsgradienten ermöglichen. Sie erfüllen auch die Forderung nach hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung der Strömungsgeschwindigkeit, Messungen von Geschwindigkeiten bis herab zu wenigen cm/s und einer bequemen, trägheitsarmen Übertragung der Meßwerte. Begrenzungen im Einsatz für den vorliegenden Anwendungsfall ergeben sich aus der vom Draht ausgehenden Eigenkonvektion und aus der Gegebenheit, daß in den überlagerten Temperatur- und Strömungsgrenzschichten in jedem Feldpunkt neben der Geschwindigkeit auch die Temperatur einen anderen Wert hat. Letzteres führt insbesondere bei Hitzdrahtanemometern mit Widerstandsdraht und kleinem Überhitzungsverhältnis zu Fehlmessungen. Ein stabiles Verhalten der Sondencharakteristik kann bei Messungen in Flüssigkeiten außer durch Verschmutzungen auch durch elektrolytische Ablagerungen, Siedeerscheinungen und Gasansammlungen am Draht beeinträchtigt werden. Beim Einsatz in elektrisch leitenden Flüssigkeiten muß die Sonde mit einem isolierenden Schutz versehen werden. Ein bei Grenzschichtmessungen nicht zu behebender Nachteil besteht darin, daß stets die geometrische Summe der Geschwindigkeitskomponenten gemessen wird.

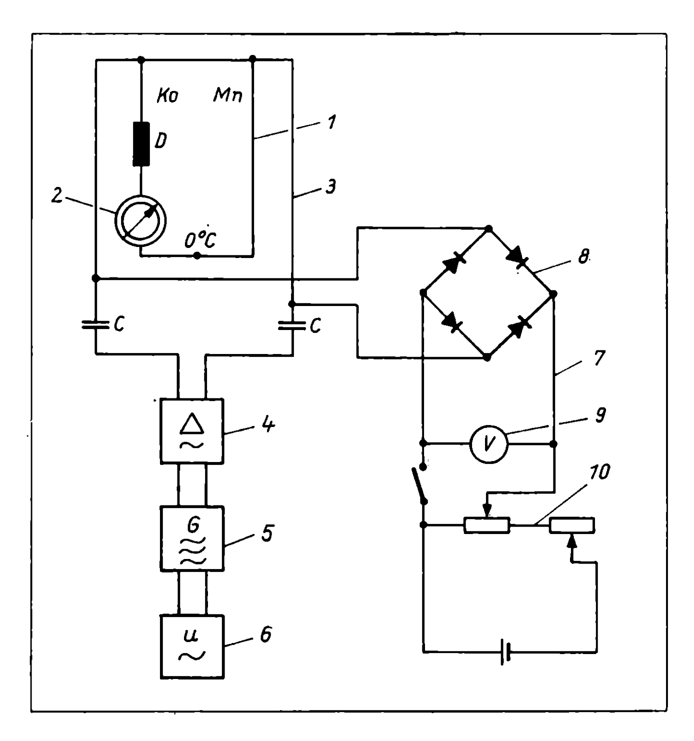


Bild 1. Schaltschema des Thermoelement-Hitzdrahtanemometers

1 Thermoelementenkreis; *2* Kompensator; *3* Heizkreis; *4* Leistungsverstärker; *5* Frequenzgenerator; *6* Spannungskonstanthalter; *7* Anzeigekreis; *8* Gleichrichter in Graetz-Schaltung; *9* Anzeigeinstrument; *10* Kompensationsteil; *D* Drossel; *C* Kondensator

Nach Abwägen der Vor- und Nachteile wurde für die eigenen Messungen ein direkt beheiztes Thermoelement-Hitzdrahtanemometer entwickelt. Dieses Prinzip beruht nach [2] auf einem Vorschlag von *Gmelin*, ohne daß es anscheinend bisher erprobt war. Das Grundsätzliche dieses Meßgerätes ist, daß anstelle eines beheizten Widerstandsdrahtes ein beheizbares Thermoelement in die Strömung gebracht wird.

2. Experimenteller Aufbau und Meßvorgang

Im Bild 1 ist das Schaltschema für das Thermoelement-Hitzdrahtanemometer dargestellt. Das Prinzip der Schaltung besteht darin, den Heizwechselstrom durch eine Drossel vom Thermostrom zu trennen und diesen wiederum durch Kondensatoren gegen die Wechselstromquelle abzublocken. Die Frequenz des Wechselstromes wird mit Hilfe eines Frequenzgenerators auf 5000 Hz erhöht, um den Widerstand der Kondensatoren unter den Wert des Heizdrahtes zu reduzieren. Dieser Maßnahme wird es auch zugeordnet, daß während der Messungen, z. B. in Wasser, keine elektrolytischen Effekte festgestellt werden konnten. Dem Frequenzgenerator ist ein Leistungsverstärker nachgeschaltet, um die in Flüssigkeiten relativ große Wärmeabgabe des Thermoelementes aufbringen zu können.

[1]) Mitteilung aus der Ingenieurhochschule für Seefahrt Warnemünde, Wissenschaftsbereich Wärmetechnik und Strömungsmechanik.

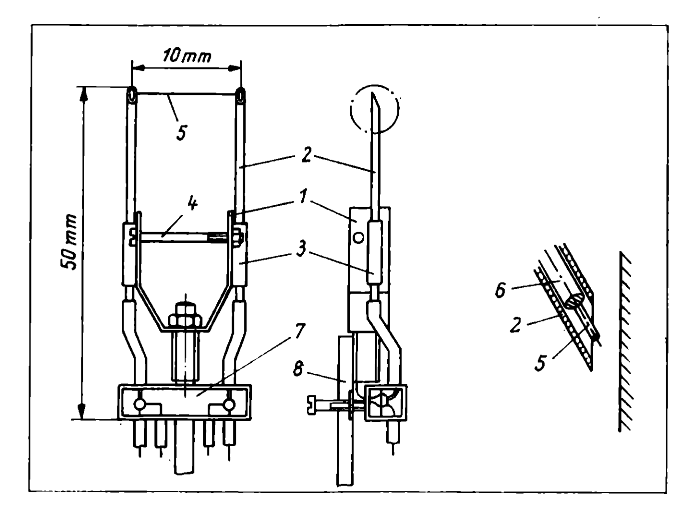


Bild 2. Aufbau des Meßfühlers

1 Metallbügel; *2* Keramikröhrchen als Träger; *3* Stahlkanülen; *4* Spannschraube; *5* Thermoelementendrähte mit Schweißstelle; *6* Drahtlitze; *7* Lötleiste; *8* Schwenkvorrichtung

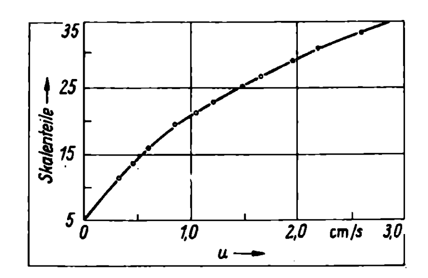


Bild 3. Eichkurve des Geschwindigkeitsmessers in destilliertem Wasser

Temperaturdifferenz $\Delta T = 10{,}5$ K.

Der Spannungsabfall über dem Hitzdraht, gemessen in Skalenteilen, stellt ein Maß für die Geschwindigkeit dar. Zur Unterdrückung des infolge der Eigenkonvektion auftretenden Zeigerausschlages wird der Wechselstrom gleichgerichtet und mit der im Bild 1 gezeigten Schaltung kompensiert. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, die gesamte Skale für den eigentlichen Meßwert auszunutzen. Die Kompensation der Thermospannung erfolgt mit einem Präzisionskompensator. Um bei Ortsänderungen in der Temperaturgrenzschicht eine Änderung des elektrischen Widerstandes zu vermeiden, besteht das Thermoelement aus Konstantan- und Manganindrähten. Das in Eigenfertigung aufgebaute Meßgerät nach Bild 2 besteht aus einem federnden Metallbügel, an dem die beiden Träger befestigt sind. Über diese ist das Thermoelement mit einem Drahtdurchmesser von 0,05 mm so geführt, daß sich die Schweißstelle in der Mitte zwischen den Trägern befindet. Als Träger dienen Keramikröhrchen, die in dünnwandigen, an den Metallbügel angelöteten Stahlkanülen stecken. In die Keramikröhrchen werden Drähte aus dem jeweiligen Thermoelementenmaterial als Litze eingezogen, so daß der Ohmsche Widerstand gegenüber dem des Thermoelementendrahtes vernachlässigbar klein bleibt. Bei Beheizung wird dadurch nur der Draht zwischen den Trägern erwärmt. Bild 2 zeigt auch den Anschliff der Keramikröhrchen mit dem darüber geführten Draht zur unmittelbaren Annäherung an die Wand. Durch Betätigen einer Schraube kann der Draht ausreichend gespannt werden.

Zur Herstellung einer Drahtverbindung ohne Verdickung werden die Thermoelementendrähte durch Kondensatorentladung stumpf zusammengeschweißt. Die dafür gebaute Schweißvorrichtung besteht aus einer Konstruktion zum genauen Ausrichten der zu verschweißenden Drahtenden und aus dem elektrischen Teil. Das Einrichten und Zusammenschweißen erfolgt unter dem Mikroskop. Auf diese Weise kommen Verbindungen zustande, die keine Verdickungen aufweisen und nur unter dem Mikroskop zu erkennen sind. Damit wird mit diesem Meßgerät eine weitestgehend punktförmige Messung sowohl der Temperaturen als auch der Geschwindigkeiten ermöglicht. Der Meßvorgang wird so durchgeführt, daß im Feldpunkt bei abgestellter Heizung zuerst die Temperaturmessung erfolgt. Anschließend wird das Thermoelement um eine für alle Messungen einheitliche Temperaturdifferenz gegenüber der Temperatur im Feldpunkt erwärmt. Die dafür erforderliche elektrische Leistung ist als Maß für die Geschwindigkeit am Frequenzgenerator durch Verändern der Amplitude einzustellen.

3. Meßergebnisse

Die Eichung des Meßgerätes zur Bestimmung des Zusammenhanges von Geschwindigkeit und Heizleistung in Skalenteilen des Anzeigeinstrumentes erfolgte in laminarer Spaltströmung mit veränderbarer Geschwindigkeit. Die Strömung wurde erzeugt, indem Flüssigkeit aus einem Hochbehälter durch einen senkrechten angeordneten Eichkanal von unten nach oben geleitet wurde. Der Eichkanal hatte einen rechteckigen Strömungsquerschnitt von 58 mm × 5,8 mm und eine Länge von 800 mm. Die Schweißstelle des Thermoelementes befand sich im Schnittpunkt der Diagonalen des Rechteckquerschnittes im oberen Teil des Strömungskanals.

Der umlaufende Flüssigkeitsstrom wurde durch Auswiegen der Flüssigkeit in einem Auffangbehälter gemessen. Die im Bild 3 eingetragene Geschwindigkeit ist die Geschwindigkeit am angegebenen Meßort, die nach $u = 1{,}5 \cdot k \cdot u_m$ berechnet wurde, wobei u_m die aus der Flüssigkeitsmasse ermittelte Geschwindigkeit und k eine Konstante für den Eichkanal ist. Die dargestellte Eichkurve gilt für destilliertes Wasser mit einer Temperatur von 20 °C als Strömungsmittel und einer Temperaturdifferenz von 10,5 K. Die für verschiedene Flüssigkeiten aufgenommenen Eichkurven konnten mit guter Genauigkeit reproduziert werden. Die mittlere Geschwindigkeit war auf $\pm 2\%$ genau bestimmbar, während die Ablesung am Anzeigeinstrument auf $\pm 0{,}1$ Skalenteile genau durchführbar war.

Zu dieser Ermittlung der Eichkurven ist noch eine Betrachtung über die Abhängigkeit der Meßwerte von der Temperatur bei konstant gehaltener Temperaturdifferenz und Geschwindigkeit erforderlich. Der Wärmestrom vom Draht an die Flüssigkeit kann unter diesen Annahmen als proportional dem Wärmeübergang bei erzwungener und freier Konvektion angenommen werden. Der erzwungene konvektive Wärmeübergang in laminarer Strömung mit Prandtl-Zahlen $Pr > 1$ berechnet sich nach der Beziehung

$$Nu_D = K \cdot Re^m \cdot Pr^n \, . \qquad (1)$$

Für den vorliegenden Fall mit $Re = 1$ bis 5 können die Exponenten m und n nach [3] als gleich groß angenommen werden. Indem die Gleichung für unterschiedliche Flüssigkeitstemperaturen ins Verhältnis gesetzt wird, zeigt sich, daß die Nußelt-Zahl als unabhängig von der Temperatur anzusehen ist.

Die Temperaturabhängigkeit der Nußelt-Zahl bei freier Konvektion wird ersichtlich, wenn die Gleichung

$$Nu_D = C \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/4} \qquad (2)$$

für zwei unterschiedliche Temperaturen ins Verhältnis gesetzt wird. Dieser Einfluß konnte kompensiert werden, indem der

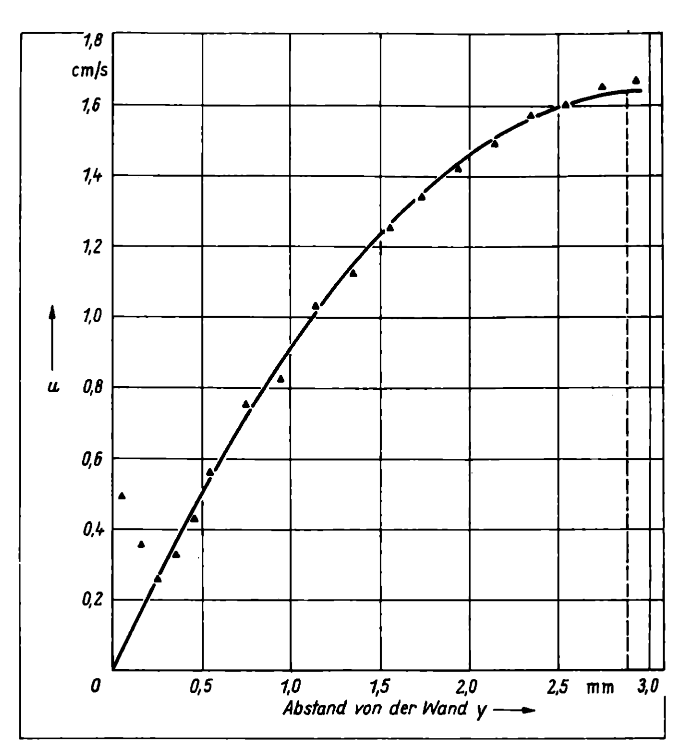


Bild 4. Geschwindigkeitsverteilung über die halbe Spaltbreite eines Rechteckkanals bei laminarer Strömung, Vergleich von Theorie und Messung

Nullpunkt des Anzeigeinstrumentes in Abhängigkeit von der Temperatur ruhender Flüssigkeit unterdrückt wurde. Die Eignung des Strömungsmessers zur Messung kleiner Geschwindigkeiten wurde im Eichkanal in einer isothermen Wasserströmung überprüft. Im Bild 4 sind die gemessenen Geschwindigkeiten über der halben Spaltbreite aufgetragen. Dazu ist das berechnete Geschwindigkeitsprofil für die ausgebildete laminare Kanalströmung eingezeichnet. Bei diesem Versuch betrug die mittlere Durchflußgeschwindigkeit $u_m = 1{,}1$ cm/s. Die gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und den gemessenen Geschwindigkeiten ist zu erkennen. Erst in einem Abstand von etwa 0,2 mm von der Oberfläche treten infolge des Wandeinflusses Abweichungen auf. Aus mehreren Versuchsreihen sind in den Bildern 5 und 6 beispielhaft Ergebnisse von Temperatur- und Geschwindigkeitsmessungen dargestellt. Sie wurden vor der Mittelsenkrechten einer beheizten Platte mit den Abmessungen 300 mm × 230 mm × 9 mm in verschiedenen Höhen x von der Plattenunterkante auf einer Normalen zur Körperoberfläche y aufgenommen. Die Oberflächentemperatur der Platte betrug $T_w = 32{,}5$ °C, die Temperatur des die Platte umgebenden, ausgedehnten Wassers $T_\infty = 16$ °C.

Für die Meßdurchführung war die Drahtsonde an einem erschütterungsfrei befestigten, massiven Koordinatenmeßbetrieb angebracht. Mit diesem konnten die Ortskoordinaten jedes beliebigen Feldpunktes vor der Platte eingestellt werden. Zur Festlegung der Nullage des Heizdrahtes diente die Plattenoberfläche. Sie ergab sich sehr genau bei Deckung des Drahtes mit dem Spiegelbild an der polierten Oberfläche. Die weitere Abstandsbestimmung erfolgte mit Hilfe einer Meßuhr mit einer Teilung von 1/100 mm. Die Schrittweite in y-Richtung betrug bis zu einer Entfernung von 1 mm von der Oberfläche 0,05 bis 0,1 mm und wurde danach vergrößert.

Bereits der visuelle Eindruck der dargestellten Meßergebnisse verdeutlicht die prinzipielle Eignung des Thermoelement-Hitzdrahtanemometers für Grenzschichtuntersuchungen bei freier Konvektion. Dies findet seine Bestätigung aus der Gegenüberstellung der gemessenen mit den berechneten Temperaturen und vertikalen Geschwindigkeitskomponenten. Dazu sind in den Bildern 7 und 8 die Meßwerte und Lösungen der beschreibenden Grenzschichtgleichungen unter Berücksichtigung temperatur-

Bild 5. Lokale Temperaturprofile

Wandtemperatur $T_w = 305{,}5$ K; $T_\infty = 289{,}0$ K

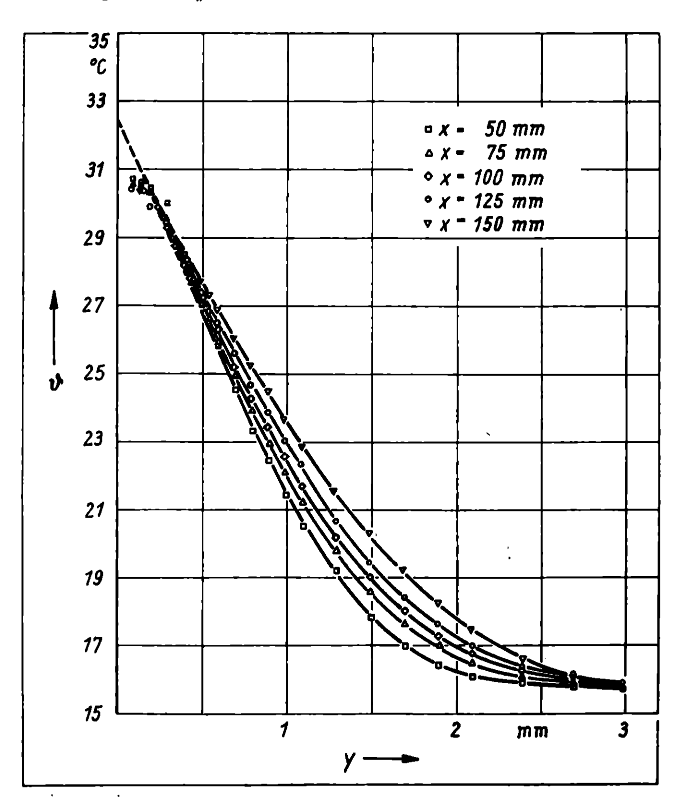
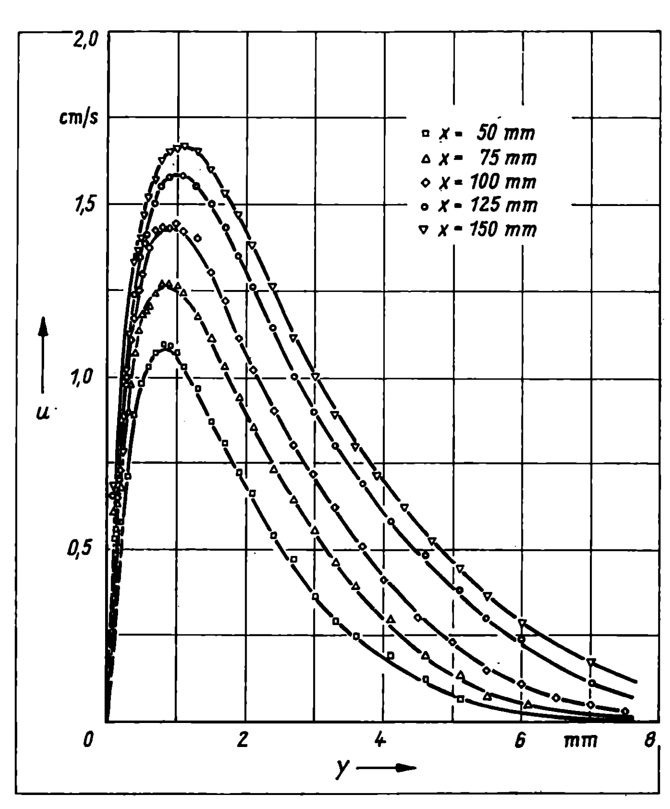


Bild 6. Lokale Geschwindigkeitsprofile



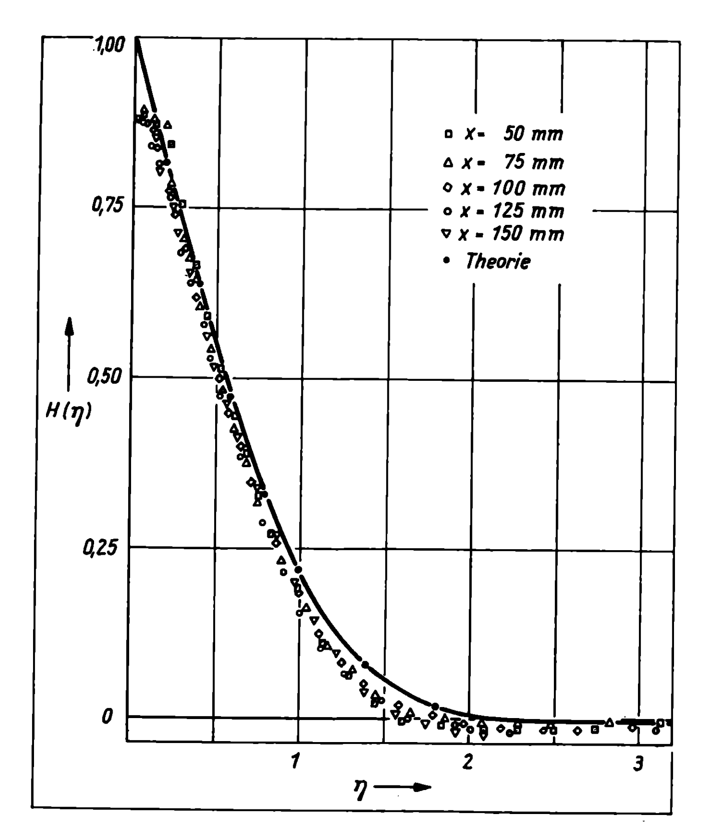


Bild 7. Temperaturfeld nach Theorie und Messung

$H(\eta) = \Theta = \frac{T - T_\infty}{T_w - T_\infty}$; Prandtl-Zahl: $Pr_w = 5,0$

$\eta = 3,54 \cdot 10^3 \cdot y \cdot x^{-1/4}$

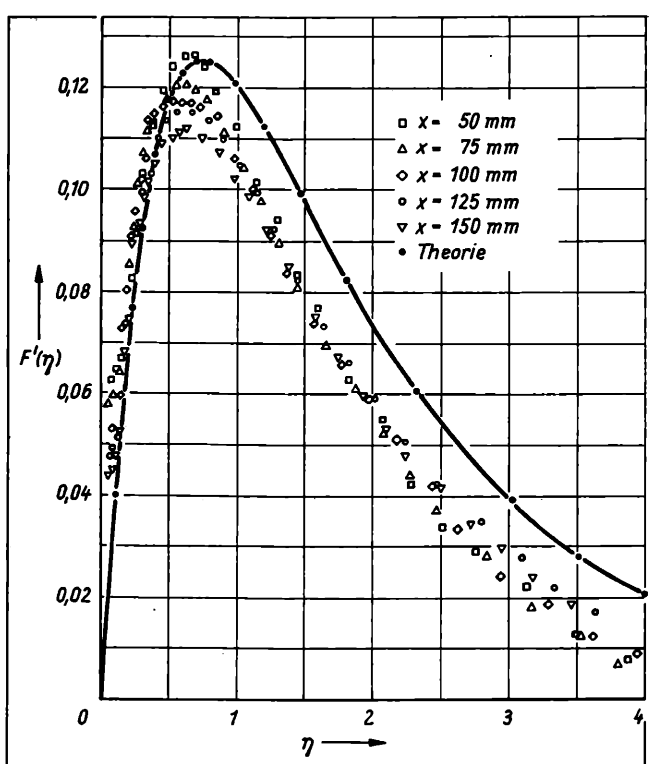


Bild 8. Geschwindigkeitsfeld nach Theorie und Messung

$F'(\eta) = 2,58 \cdot u \cdot x^{-1/2}$; Prandtl-Zahl: $Pr_w = 5,0$

$\eta = 3,54 \cdot 10^3 \cdot y \cdot x^{-1/4}$

abhängiger Zähigkeit in dimensionsloser Darstellung wiedergegeben. Die Koordinaten ergeben sich aus dem Lösungsverfahren und bewirken, daß die berechneten Temperatur- und Geschwindigkeitsfelder in einen Linienzug zusammenfallen. Das bedeutet, daß nach der Grenzschichtrechnung sowohl das Temperaturfeld $H(\eta) = \Theta$ als auch das Feld der vertikalen Geschwindigkeit $F'(\eta) \sim u$ für alle Höhen x von der Plattenunterkante nur vom Wandabstand $\eta \sim y$ abhängt. Die gemessenen Werte zeigen eine grundsätzliche Übereinstimmung mit der Theorie, doch sind systematische Abweichungen insbesondere bei dem Geschwindigkeitsfeld unverkennbar. Dieses Ergebnis bestätigt für flüssige Medien die auch aus den Messungen in Luft [1] abzuleitende Erkenntnis, daß die Grenzschichtgleichungen Details nicht ausreichend genau beschreiben. Um diese mathematisch erfassen zu können, ist die Erweiterung der Bewegungsgleichung zäher Flüssigkeiten auf den mehrdimensionalen Fall erforderlich.

Zusammenfassung

Für Grenzschichtuntersuchungen bei freier Konvektion an wärmeabgebenden Körpern in Flüssigkeiten konnte ein Gerät zur Messung lokaler Temperatur- und Geschwindigkeitsprofile entwickelt werden. Die beispielhaft dargestellten Meßergebnisse und Vergleiche mit Rechnungen lassen die Eignung für den vorgestellten Anwendungsfall erkennen. Aus dem Umgang mit dem Meßgerät resultiert die Auffassung, daß sich über den ursprünglich vorgesehenen Einsatz hinaus weitere Anwendungsmöglichkeiten anbieten.

Literatur

[1] *Schmidt, E.; Beckmann, W.:* Das Temperatur- und Geschwindigkeitsfeld vor einer wärmeabgebenden senkrechten Platte bei natürlicher Konvektion. Technische Mechanik und Thermodynamik 1 (1930) H. 10, S. 341–349, und S. 391–406.

[2] *Gmelin, P.* zitiert von *Krönert, J.:* Messung strömender Gase mit thermischen Methoden. ATM-Blatt V 1248 – 1. Juli 1933.

[3] *Michejew, M. A.:* Grundlagen der Wärmeübertragung. Berlin: VEB Verlag Technik 1962.

msr 6670

Fortsetzung von Seite 402)

kann $x/x_N = a/a_N = \chi$ gesetzt werden, und es ist

$$\Delta_{ges} = \Delta_A + \Delta_V = \sum_{\varkappa=1}^{N+M} \delta_\varkappa + \sum_{\lambda=1}^{N'+M'} \delta'_\lambda \chi + \sum_{\varrho=1}^{N''+M''} \delta''_\varrho \Phi_\varrho(\chi) \quad (20)$$

der Gesamtfehler der elektromechanischen Meßkette.

Eine Übersicht über wichtige Teilfehler in der elektromechanischen Meßtechnik und ihre Eingruppierung zeigt Tafel 2. Die Übersicht ist keineswegs vollständig, auch ist die Eintragung der wesentlichen Teilfehler nicht als absolut feststehend zu betrachten. Sie läßt aber gut erkennen, daß die (quasistatische) Messung von Kräften und Momenten vom Prinzip her mit den meisten Fehlerquellen behaftet ist. Am unkritischsten sind die dynamischen Translations- und Rotationsmessungen, zumindest wenn die heute üblichen Genauigkeitsforderungen zugrunde gelegt werden.

Literatur

[1] *Baumann, E.:* Beitrag zur Theorie der elektromechanischen Meßtechnik. Int. Koll. Informationstechnik, TU Dresden 1975.

[2] *Baumann, E.:* Elektrische Kraftmeßtechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1976.

[3] *Baumann, E.:* Theoretische Betrachtungen zu Problemen der Kraftmeßtechnik. Int. Konf. d. IMEKO-Subkomitees „Kraftmessung und Wägung", Dresden 1973.

msr 6791

Dr. sc. techn. *E. Baumann*, Dresden[1])

Fehlerproblematik bei der elektrischen Messung mechanischer Größen (Teil II)

IA 3.2

1. Allgemeine Meßoperatoren für elektromechanische Meßketten (Fortsetzung)

Eine ähnliche Betrachtung für das Geschehen in der Meßwertverarbeitungseinrichtung führt mit dem Ansatz

$$a = \lambda(u, S_v) \tag{9}$$

für ihre Funktion auf den hier entstehenden Gesamtfehler (bezogen auf den Nennwert der Ausgangsgröße a_N)

$$\begin{aligned} \Delta_v &= \frac{1}{a_N}[\lambda(u, S_v) - \lambda_s(u)] = \\ &= \underbrace{\frac{1}{a_N}[\lambda(u) - \lambda_s(u)}_{I} + \underbrace{\frac{1}{a_N}[\lambda(u, S_v) - \lambda(u)]}_{II}. \end{aligned} \tag{10}$$

Term I ist wieder die Gesamtheit der Fehler der Grundreaktion (Grundfehler), Term II der durch die Einflußgrößen bedingte Fehlerkomplex (Zusatzfehler).

Als Gesamtfehler der elektromechanischen Meßkette ergibt sich mit den Gln. (8) und (10)

$$\Delta_{ges} = \Delta_A + \Delta_v . \tag{11}$$

Die Gln. (8) und (10) zeigen, daß trotz der Komplexität der Fehlerausdrücke eine gesonderte Betrachtung eines jeden Fehlerterms möglich ist und anschließend eine lineare Überlagerung zum Gesamtfehler erfolgen kann. Diese Erkenntnis ist besonders für die Untersuchung komplizierter Erscheinungen (z. B. der Effekte durch parasitäre Belastungen) von Bedeutung. Andererseits ergibt der Formalismus keine Entkopplung der Terme von der Meßgröße x (bzw. der Zwischengröße u), so daß ohne Bereitstellung dieser Größen eine vollständige Fehleranalyse nicht erfolgen kann.

2. Ein einheitlicher praktischer Fehlerausdruck

Die aus dem allgemeinen Meßoperator abgeleiteten Fehlerbeziehungen (8) und (10) eignen sich gut für die anschauliche Interpretation der Fehlerkomplexe. Für die Berechnung der Fehler in praktischen Fällen erfolgt in Anlehnung an den eingeführten Brauch ein etwas anderes Vorgehen. Das geschieht am einfachsten für die Zusatzfehler darstellenden Terme, indem eine formale Umstrukturierung der Ausdrücke durchgeführt wird. Im Anschluß an die Schreibweise von Gl. (5) für die Fehlerterme kann der durch h_ν hervorgerufene Fehler

$$\delta h_\nu = \frac{1}{u_N}\left[\frac{\partial\varphi(x)}{\partial h_\nu} h_\nu + \frac{1}{2!}\frac{\partial^2\varphi(x)}{\partial h_\nu^2} h_\nu^2 + \frac{1}{3!}\frac{\partial^3\varphi(x)}{\partial h_\nu^3} h_\nu^3 + \ldots\right] \tag{12}$$

geschrieben werden. Nunmehr entwickelt man die Differentialquotienten in eine Taylor-Reihe um den Punkt $x = 0$. Extrahiert man nur das konstante und das lineare Glied und normiert gleichzeitig mit dem Nennwert x_N der Meßgröße, dann gilt allgemein

$$\frac{1}{i!}\frac{\partial^i\varphi(x)}{\partial h_\nu^i} = a_{i\nu} + b_{i\nu}\left(\frac{x}{x_N}\right) + \tilde{\Phi}_{i\nu}\left(\frac{x}{x_N}\right), \tag{13}$$

wobei $\Phi_{i\nu}(x/x_N)$ eine Restfunktion mindestens 2. Grades ist. Mit Gl. (13) wird der durch die Größe h_ν hervorgerufene Fehleranteil

$$\begin{aligned} \delta_{h\nu} &= \frac{1}{u_N}[a_{1\nu}h_\nu + a_{2\nu}h_\nu^2 + a_{3\nu}h_\nu^3 + \ldots] + \\ &+ \frac{1}{u_N}\left[(b_{1\nu}h_\nu + b_{2\nu}h_\nu^2 + b_{3\nu}h_\nu^3 + \ldots)\left(\frac{x}{x_N}\right)\right] + \\ &+ \frac{1}{u_N}\left[\tilde{\Phi}_{1\nu}\left(\frac{x}{x_M}\right)h_\nu + \tilde{\Phi}_{2\nu}\left(\frac{x}{x_N}\right)h_\nu^2 + \tilde{\Phi}_{3\nu}\left(\frac{x}{x_N}\right)h_\nu^3 + \ldots\right] \\ &= \delta_\nu + \delta'_\nu\left(\frac{x}{x_N}\right) + \delta''_\nu\Phi_\nu\left(\frac{x}{x_N}\right). \end{aligned} \tag{14}$$

Wie man erkennt, lassen sich die Fehleranteile in drei Gruppen einordnen:

- Konstante absolute Teilfehler (Schreibweise δ_ν). Bei ihnen liegt keinerlei Abhängigkeit ihres Betragens von der Meßgröße vor. Sie rufen daher einen anwachsenden relativen Fehler hervor, wenn die Meßgröße kleiner wird. Beispiele: Nullpunktfehler durch Temperatureinfluß, Fehler durch parasitäre Belastungen.
- Konstante relative Fehler (Schreibweise δ'_ν). Sie bewirken einen mit der Meßgröße ansteigenden absoluten Fehlerbetrag und lassen sich immer als Veränderung des Übertragungsfaktors (der Empfindlichkeit) deuten. Beispiele: Fehler durch Verteilungseffekte, Temperaturfehler des Übertragungsfaktors. Wie man erkennt, ist δ'_ν selbst der Fehlerbetrag bei Belastung mit der mechanischen Nenngröße ($x = x_N$), während der im allgemeinen Betriebsfall wirkende Fehleranteil $\delta'_\nu(x/x_N)$ ist.
- Nichtelementar abhängige Teilfehler (Schreibweise δ''_ν). Diese sind beliebig (u. U. auch nicht genau angebbar) von der Meßgröße abhängig und verändern somit die Feinstruktur der Übertragungskennlinie. Beispiel: Veränderung des Linearitätsverhaltens mit der Temperatur. In den meisten Fällen sind die hierher gehörenden Fehlerterme von relativ kleinem Betrag, z. B. Restfehler bei kompensierten konstanten und linearen Anteilen. Es genügt hier sicher die Beschränkung auf die lineare Abhängigkeit von der jeweiligen fehlerverursachenden Größe h_ν, d. h., man kann

$$\begin{aligned} &\frac{1}{u_N}\left[\tilde{\Phi}_{1\nu}\left(\frac{x}{x_N}\right)h_\nu + \tilde{\Phi}_{2\nu}\left(\frac{x}{x_N}\right)h_\nu^2 + \ldots\right] \approx \\ &\approx \frac{1}{u_N}\tilde{\Phi}_{1\nu}\left(\frac{x}{x_N}\right)h_\nu = \delta''_\nu\Phi_\nu\left(\frac{x}{x_N}\right) \end{aligned} \tag{15}$$

schreiben. Die Identität wurde bereits in der letzten Zeile von Gl. (14) verwendet. Dabei ist es zweckmäßig, die an sich beliebig mögliche Aufspaltung des Produkts so vorzunehmen, daß

$$\max\left|\Phi_\nu\left(\frac{x}{x_N}\right)\right| = 1 \qquad 0 \leq |x| \leq |x_N| \tag{16}$$

gilt. Die Größe δ''_ν stellt dann den maximal möglichen Fehleranteil im zulässigen Intervall der Meßgröße dar.

Zur Illustration zeigt Bild 2 schematisch die Grundreaktion und Übertragungskennlinien für den Fall einer einzigen fehlerverursachenden Größe h_ν. Es lassen sich daraus Meßstrategien zur Bestimmung der Koeffizienten in Gl. (14) ableiten. Zur Ermittlung der $a_{\varrho\nu}$ genügt z. B. die Messung einer genügenden Anzahl von Punkten auf I, während die $b_{\varrho\nu}$ durch zusätzliche Messungen auf II – also bei Belastung mit der mechanischen Nenngröße – ermittelt werden können. Messungen auf den anderen eingezeichneten Senkrechten ($x_{\sigma-1}, x_\sigma, x_{\sigma+1}$) werden dann erforderlich, wenn $\tilde{\Phi}_{\varrho\nu}(x/x_N)$ bestimmt werden sollen, wobei die Anzahl der Meßschritte von der gewünschten Genauigkeit der $\tilde{\Phi}_{\varrho\nu}(x/x_N)$ abhängt. Interpretiert man das Fehlergeschehen in dem zwischen $x = 0$ und $x = x_N$ liegenden Bereich dagegen – wie vorgeschlagen – durch den Ansatz in Gl. (15), so hat eine Mittelung bezüglich der h_ν-Abhängigkeit zu erfolgen. Wegen der Kleinheit derartiger Effekte ist das aber problemlos.

---

[1]) Teil I erschien im Heft 5/1979.

Die Analyse der Grundfehler erfolgt am einfachsten phänomenologisch, indem an die wohlbekannten Fehlerterme angeknüpft wird

- Toleranz des Nullpunkts oder Unbalance, Alterung des Nullpunktes, Nullpunktfehler bei Erregungsänderung, Auflösung (Schreibweise δ_μ)
- Toleranz des Übertragungsfaktors oder Kalibrierfehlers, Alterung des Übertragungsfaktors, Übertragungsfaktoränderung durch Erregungsänderung, Kriechen, dynamischer Fehler (Schreibweise δ'_μ)
- Linearitätsfehler, Umkehrspanne oder Hysterese, Reproduzierbarkeit (Schreibweise δ''_μ).

Wie man erkennt, ergibt sich auch hier die bei den Zusatzfehlern eingeführte Dreiteilung in absolut konstante (δ_μ), relativ konstante (δ'_μ) und nichtelementar abhängige Teilfehler (δ''_μ).

Führt man alle genannten Fehlerterme in die Gln. (4) bzw. (8) ein, so erhält man als Gesamtfehler des elektromechanischen Aufnehmers formal

$$\Delta_\mathrm{A} = \underbrace{\sum_\mu \left[\delta_\mu + \delta'_\mu \left(\frac{x}{x_\mathrm{N}}\right) + \delta''_\mu \Phi_\mu \left(\frac{x}{x_\mathrm{N}}\right)\right]}_{\text{Grundfehler}} + \underbrace{\sum_\nu \left[\delta_\nu + \delta'_\nu \left(\frac{x}{x_\mathrm{N}}\right) + \delta''_\nu \Phi_\nu \left(\frac{x}{x_\mathrm{N}}\right)\right]}_{\text{Zusatzfehler}}, \qquad (17)$$

wobei die Summierung über alle zu berücksichtigenden μ und ν zu erfolgen hat. Die Schreibweise von Gl. (17) ist jedoch unvollkommen, da sie eine Symmetrie bezüglich der Indizes μ und ν vortäuscht. Tatsächlich ist aber der Zählindex μ der Grundfehlerterme ein ganz willkürlicher Index, der den zu berücksichtigenden Komponenten beliebig zugeordnet werden kann, während der Index ν eindeutig Bezug nimmt auf die entsprechende fehlerverursachende Größe h_ν. Andererseits ist auch das Fehlerschema der Zusatzfehlerterme nie vollständig, d. h., je nach betrachtetem h_ν (z. B. bei parasitären Belastungen) werden häufig eine oder zwei Größen des Tripels ($\delta_\nu, \delta'_\nu, \delta''_\nu$) praktisch vernachlässigbar sein. Aus diesem Grund kann man eine neue Indizierung einführen, die grundsätzlich nur noch eine formale Numerierung der interessierenden Fehlerterme darstellt, und man muß

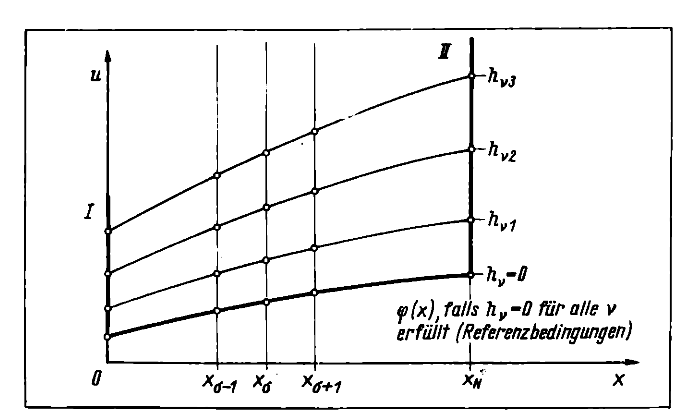


Bild 2. Grundfunktion und Übertragungskennlinien für eine fehlerverursachende Größe h_ν

außerdem keine Unterschiede zwischen Grund- und Zusatzfehleranteilen machen.

Der Gesamtfehler des Aufnehmers kann somit

$$\Delta_\mathrm{A} = \sum_{\varkappa=1}^{N} \delta_\varkappa + \sum_{\lambda=1}^{N'} \delta'_\lambda \left(\frac{x}{x_\mathrm{N}}\right) + \sum_{\varrho=1}^{N''} \delta''_\varrho \Phi_\varrho \left(\frac{x}{x_\mathrm{N}}\right) \qquad (18)$$

geschrieben werden, wobei N, N' und N'' die Gesamtanzahl der für das jeweilige Meßproblem interessierenden absolut konstanten, relativ konstanten oder nichtelementar abhängigen Fehleranteile darstellt. Ein völlig gleichartiges Vorgehen ist auch mit den Teilfehlern der Meßwertverarbeitungseinrichtung möglich. Sind M, M' bzw. M'' die Anzahl der hierbei zu berücksichtigenden absolut oder relativ konstanten bzw. der nichtelementar abhängigen Teilfehler, dann erhält man den Gesamtfehler von V entsprechend

$$\Delta_\mathrm{V} = \sum_{\varkappa=N+1}^{N+M} \delta_\varkappa + \sum_{\lambda=N'+1}^{N'+M'} \delta'_\lambda \left(\frac{a}{a_\mathrm{N}}\right) + \sum_{\varrho=N''+1}^{N''+M''} \delta''_\varrho \Phi_\varrho \left(\frac{a}{a_\mathrm{N}}\right) \qquad (19)$$

einfach durch Weiterzählen über die Fehleranteile des Aufnehmers hinaus. Der Gesamtfehler der ganzen Meßkette ergibt sich dann nach Gl. (11) durch Summation der Gln. (18) und (19). Für die Meßpraxis ist eine Vereinfachung der Summenformel für die wichtigste Art von V möglich, bei der gemäß $a = k \cdot u$ eine Proportionalität zwischen Ein- und Ausgang besteht. Dann

(Fortsetzung auf Seite 400)

Tafel 2. Teilfehler in wichtigen elektromechanischen Meßketten (Auswahl) (x) gilt im wesentlichen für Anzeige und Registrierung

Fehlerkomplex	Teilfehler	Art des Teilfehlers $\delta_\varkappa$	δ'_λ	δ''_ϱ	Aufnehmer A Meßgröße: ζ, v, a quasistatisch	ζ, v, a dynamisch	α, ω, ω' quasistatisch	α, ω, ω' dynamisch	p quasistatisch	F quasistatisch	M quasistatisch	Meßwertverarbeitungseinrichtung V
$\varphi(x)$	Nullpunktfehler	x			x		x		x	x	x	x
$(\lambda(u))$	Kalibrierfehler		x		x	x	x	x	x	x	x	x
	Linearitätsfehler			x	x		x		x	x	x	x
	Hysterese			x	x		x		x	x	x	(x)
	Reproduzierbarkeitsfehler			x	x		x		x	x	x	(x)
	Auflösung	x			x		x		x	x	x	(x)
	Kriechen		x		x		x		x	x	x	(x)
	dynamischer Fehler		x			x		x				(x)
W	Kraftverteilungsfehler		x							x		
	Momentverteilungsfehler		x								x	
P	Fehler durch Querbewegung	x			x	x						
	Fehler durch Querdrehung	x					x	x				
	Fehler durch Drehungen	x			x	x						
	Fehler durch Translationen	x					x	x				
	Fehler durch Querkräfte	x								x		
	Fehler durch Quermomente	x									x	
	Fehler durch Momente	x								x		
	Fehler durch Kräfte	x									x	
S	Temperaturfehler des Nullpunkts	x			x		x		x	x	x	x
(S_V)	Temperaturfehler des Übertragungsfaktors		x		x	x	x	x	x	x	x	x
	Fehler durch allseitigen Druck	x								x	x	
	Fehler durch Schwingungen	x							x	x	x	
	Fehler durch elektromagnetische Felder	x			x	x	x	x	x	x	x	x

Dr.-Ing. *R. Wolf* und Dipl.-Ing. *K. Fiedler*, Magdeburg[1])

Elektronische Schaltungen der Automatisierungstechnik (XV)

Spannungs- und temperaturabhängige Halbleiterwiderstände

IA 4.0

1.3. *Anwendungstechnik*

Die Kennlinie eines Varistors ist im Bild 7 dargestellt. Die maximal zulässige Verlustleistung wird immer im nichtlinearen Bereich von Varistoren erreicht. Dadurch werden einer möglichen Spannungsstabilisierung, für die ein Betrieb im Sättigungsbereich günstig wäre, bauelementeseitig Grenzen gesetzt. Wenn man die Daten des Varistors SV 120/10–44 nach Gl. (1) zugrunde legt, ergeben sich z. B. mit $I_1 = 15$ mA, $I_2 = 25$ mA ($I = 20$ mA $\pm$ 5 mA), $U_1 = 130$ V, $U_2 = 140$ V ($U = 135$ V $\pm$ $\pm$ 5 V):

$$I = \pm 25\,\%\,, \quad U = \pm 3{,}8\,\%$$

ein dynamischer Innenwiderstand $R_d = \frac{\Delta U}{\Delta I} = 1\ \mathrm{k\Omega}$

und ein Stabilisierungsfaktor $S = \frac{\Delta I}{\Delta U} = 6{,}6\ \frac{\mathrm{mA}}{\mathrm{V}}$.

Bei dieser Arbeitspunktwahl ergeben sich noch recht günstige Werte. Wenn der Arbeitspunkt aber in ein Gebiet größerer Kennlinienkrümmung gelegt werden muß, ergeben sich weniger gute Stabilisierungsfaktoren, z. B. SV 180/10–44 im Arbeitspunkt: $I_1 = 5$ mA, $I_2 = 15$ mA ($I = 10$ mA $\pm$ 5 mA), $U_1 =$ $= 160$ V, $U_2 = 200$ V ($U = 180$ V $\pm$ 20 V)

$$I = \pm 50\,\%\,, \quad U = 11\,\%$$

[1]) Teil XIV erschien im Heft 5/1979.

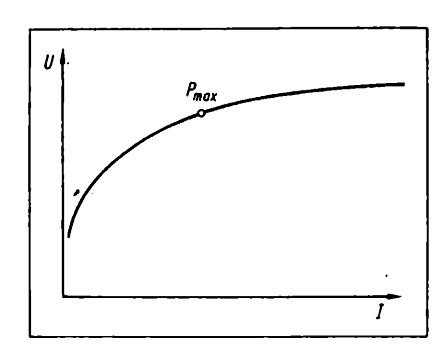


Bild 7
Kennlinie des Varistors mit maximal zulässiger Verlustleistung P_{max}

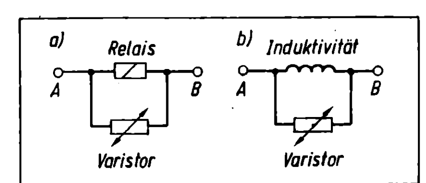


Bild 8
Schutzschaltung mit Varistoren an
a) Relais
b) Induktivitäten

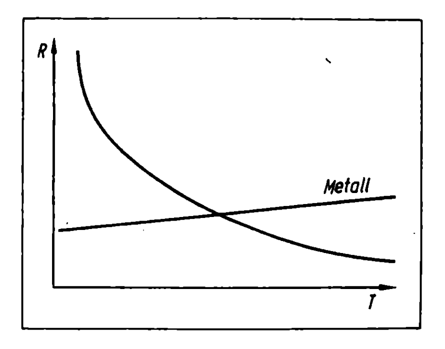


Bild 9
Kennlinie eines Thermistors (zum Vergleich das Verhalten eines Metallwiderstandes)

ein dynamischer Innenwiderstand $R_d = \frac{\Delta U}{\Delta I} = 4\ \mathrm{k\Omega}$

und ein Stabilisierungsfaktor $S = \frac{\Delta I}{\Delta U} = 4{,}55\ \frac{\mathrm{mA}}{\mathrm{V}}$.

Damit hat sich der Stabilisierungsfaktor gegenüber dem ersten Beispiel um nahezu ein Drittel (31%) verschlechtert. Bei der Verwendung von Varistoren für die Spannungsstabilisierung kann man davon ausgehen, daß nur unter äußerst günstigen Bedingungen eine Spannungsstabilisierung, die besser als 5% ist, erreicht wird. Für diese Anwendungsfälle empfiehlt sich der Einsatz von Varistoren mit kleinen β-Werten (verringerter dynamischer Innenwiderstand).

Ein weiteres Anwendungsgebiet für Varistoren ist der Überspannungsschutz bei Induktivitäten und der Funkenschutz bei Kontakten (Bild 8). Solange ein Strom durch die Induktivität oder das Relais fließt, ist der Ohmsche Widerstand dieser Bauelemente kleiner als der Widerstand des Varistors, so daß der Varistor zum Gesamtverhalten der Schaltung keinen Beitrag liefert. Wird der Stromfluß unterbrochen, dann wird der Varistor auf Grund seines jetzt geringeren Widerstandes zum bestimmenden Teil der Parallelschaltung. Wie im Bild 2b zu sehen ist, werden die impulsförmigen Stromspitzen durch den mit zunehmendem Strom ansteigenden Widerstand des Varistors (s. Bild 7 U/I-Kennlinie) gedämpft.

Varistoren haben den Vorteil gegenüber Dioden zur Stabilisierung und zum Überspannungsschutz, daß sie bei kleinen Leistungen und geringen Genauigkeitsforderungen für höhere Spannungen (100 ... 800 V)kostenungünstige Lösungen bieten können.

2. Temperaturabhängige Widerstände (NTC-Widerstände, Thermistoren, Heißleiter)

2.1. *Eigenschaften*

2.1.1. Kennlinien

Thermistoren haben eine besonders ausgeprägte Abhängigkeit ihres Widerstandes von der Temperatur, für die angenähert gilt

$$R = a\, e^{b/T}\,. \tag{22}$$

Der nichtlineare Zusammenhang zwischen Widerstand R und Temperatur T ist im Bild 9 dargestellt. In Gl. (22) stellt a den Grundwiderstand des Thermistors bei 20 °C dar und wird gelegentlich auch als Mengenkonstante oder Formkonstante bezeichnet. Der Grundwiderstand bei handelsüblichen Thermistoren liegt zwischen 1 Ω und 150 kΩ bei Auslieferungstoleranzen von $\pm$20%, nur in Sonderfällen ist die Toleranz geringer.

Der Wert b wird als Regelfaktor oder Energiekonstante bezeichnet. Die Nichtlinearität der Kennlinie ist um so ausgeprägter, je größer der b-Wert ist. Als Toleranz werden von den Herstellern oft $\pm$10% und $\pm$20% angegeben: ihr absoluter Wert liegt zwischen 1500 K und 6000 K. Zur Bestimmung des b-Wertes geht man von einer Messung des Widerstandswertes des Thermistors bei zwei unterschiedlichen Temperaturen aus:

$$b = \frac{\ln R_1/\Omega - \ln R_2/\Omega}{1/T_1 - 1/T_2} = 2{,}303\, \frac{\lg R_1/\Omega - \lg R_2/\Omega}{1/T_1 - 1/T_2}\,. \tag{23}$$

Beim Hersteller wird die b-Konstante durch die Messung bei zwei positiven Temperaturen (20 °C; 50 °C) bestimmt. Die b-Konstante läßt sich als Anstieg der Kennlinie des Thermistors nach Bild 9 deuten und ist damit im Widerspruch zu den üblichen Angaben nicht konstant. Die nach Gl. (23) bestimmte b-Konstante stellt eine mittlere Steilheit der Kennlinie im Bereich zwischen den Meßtemperaturen T_1 und T_2 dar. Die Temperatur T ist als absolute Temperatur $T = 273 + \vartheta/°C$ in die angegebenen Gleichungen einzusetzen.

Für praktische Anwendungen von Thermistoren hat der Temperaturkoeffizient TK kaum Bedeutung, da er temperaturabhängigen Schwankungen unterliegt (s. Gl. (24)), so daß man zur Beschreibung des Temperaturverhaltens die b-Konstante heranzieht. Für den TK-Wert gilt:

$$TK = \frac{b}{T^2}. \tag{24}$$

Er bewegt sich typenspezifisch im Bereich von −1,7 ... −6,3%/K (zum Vergleich Kupfer: +0,4%/K). Auf Grund der Nichtlinearität der b-Konstante ist auch der TK-Wert in seinem Verhalten nichtlinear (Bild 10).

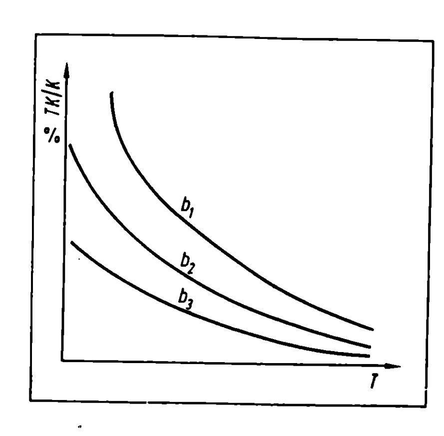


Bild 10
Abhängigkeit des TK-Wertes bei Thermistoren von der Temperatur
($b_1 > b_2 > b_3$)

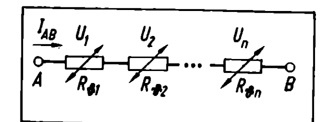


Bild 11
Reihenschaltung von Thermistoren

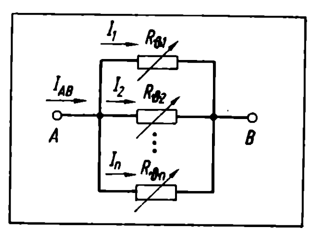


Bild 12
Parallelschaltung von Thermistoren

2.1.2. Dynamische Eigenschaften

Da Thermistoren Bauelemente sind, deren Wirkungsweise auf der Widerstandsänderung durch Temperaturänderung beruht, wobei Betriebstemperaturen zwischen 100 °C und 500 °C erreicht werden, ist es sinnvoll, eine Kenngröße zu definieren, die ein Maß dafür ist, wann der Thermistor wieder auf eine beliebige Eingangsgröße reagieren kann. Diese Kenngröße ist die Erholungszeit. Sie gibt an, wie lange es dauert, bis der Thermistor wieder den Kaltwiderstand erreicht hat. Manche Hersteller benutzen für die Angabe der Erholungszeit den halben Kaltwiderstandswert. Die Erholungszeit ist abhängig von der Größe des Thermistors, dem Aufheizungsgrad und der Abkühlungskonstante. Sie liegt etwa zwischen 15 s und 550 s und wird auf eine bestimmte obere Temperatur bezogen (meist Betriebstemperatur).

2.2. Möglichkeiten der Zusammenschaltung bei Thermistoren

Für die Zusammenschaltung von Thermistoren gelten die gleichen Regeln wie bei Ohmschen Widerständen.

Reihenschaltung (Bild 11):

$$I_{AB} = I_1 = I_2 = ... = I_n \tag{25}$$

$$U_{AB} = U_1 + U_2 + ... + U_n = \sum_{v=1}^{n} U_v \tag{26}$$

$$R_{AB} = R_{\vartheta 1} + R_{\vartheta 2} + ... + R_{\vartheta n} = \sum_{v=1}^{n} R_{\vartheta v}\,. \tag{27}$$

Der Widerstand des Thermistors ist als $R = a\,e^{b/T}$ (Gl. (22)) definiert, so daß bei Reihenschaltung von Thermistoren auch geschrieben werden kann:

$$R_\vartheta = \sum_{v=1}^{n} R_v\, e^{b_v/T}\,. \tag{28}$$

Das statische Verhalten der Reihenschaltung (Anfangszustand; $a = R$) wird bestimmt durch die einzelnen Kaltwiderstände:

$$R_{ges} = \sum_{v=1}^{n} R_v\,. \tag{29}$$

Das dynamische Verhalten wird im wesentlichen von der b-Konstante der Einzelwiderstände bestimmt. Bei der festen Temperatur T bestimmt die b-Konstante den Anstieg der Widerstandskennlinie. Aus diesem Zusammenhang läßt sich b ermitteln. Für zwei Thermistoren gilt:

$$R_{ges} e^{b_{ges}/T} = R_1\, e^{b_1/T} + R_2\, e^{b_2/T}$$

$$\frac{d}{d\left(\frac{1}{T}\right)} \left(R_{ges}\, e^{b_{ges}/T}\right) = \frac{d}{d\left(\frac{1}{T}\right)} R_1\, e^{b_1/T} + \frac{d}{d\left(\frac{1}{T}\right)} R_2\, e^{b_2/T}$$

$$b_{ges} R_{ges} = b_1 R_1 + b_2 R_2$$

$$b_{ges} = \frac{b_1 R_1 + b_2 R_2}{R_1 + R_2}. \tag{30}$$

Der b-Wert der Gesamtanordnung ist also temperaturabhängig. Wird ein Thermistor mit einem Widerstand in Reihe geschaltet, folgt (da $b_2 = 0$):

$$\left.\begin{aligned} R_{ges} &= R_1 + R_2 \\ b &= \frac{b_1 R_1}{R_1 + R_2}. \end{aligned}\right\} \tag{31}$$

Aus Gl. (30) läßt sich erkennen, daß der Kennlinienverlauf bei Werten hoher Temperatur (kleinere b-Werte) abgeflacht wird.
Parallelschaltung (Bild 12):

$$U_{AB} = U_1 = U_2 = ... = U_n \tag{32}$$

$$I_{AB} = I_1 + I_2 + ... + I_n = \sum_{v=1}^{n} I_v \tag{33}$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{R} &= \frac{I_{AB}}{U_{AB}} = \frac{1}{R_{\vartheta 1}} + \frac{1}{R_{\vartheta 2}} + ... + \frac{1}{R_{\vartheta n}} \\ R &= \frac{1}{\sum_{v=1}^{n} 1/R_v} \end{aligned}\right\} \tag{34}$$

msr 6600 (Beitrag wird fortgesetzt)

Diese Beitragsfolge behandelt den Werdegang der Definition und Darstellung von sieben physikalischen Einheiten zu den heutigen Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI). Dabei wird an ausgewählten Beispielen die wechselseitige Verknüpfung der Entwicklung von Physik und Technik einerseits und der Metrologie andererseits beschrieben. Die Arbeit der Organe der Internationalen Meterkonvention und die kontinuierliche Erweiterung ihrer Zuständigkeitsbereiche wird für den betrachteten Zusammenhang dargestellt.
Die Beiträge resultieren aus der Dissertation des Autors Dr. phil. Peter Glatz von der Pädagogischen Hochschule „Dr. Theodor Neubauer" Erfurt/Mühlhausen, Sektion Mathematik/Physik.

Redaktion

Zur physikalisch-technischen Herausbildung der Definition und Darstellung der Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI) [1]

IA 6.1; 6.4

0. Einleitung

Ende des 18. Jahrhunderts erforderten die sich herausbildende kapitalistische Großproduktion und die damit verbundenen Fortschritte in den Naturwissenschaften und der Technik grundsätzlichere Bemühungen um die internationale Vereinheitlichung von „Maß und Gewicht" als in den vorhergehenden Zeiten. So entstand im Jahre 1799 in Frankreich das Metrische Maßsystem, das nach dem Willen seiner Schöpfer „für alle Zeiten und für alle Völker" gelten sollte [1].

Dieses Einheitensystem hat sich jedoch nur sehr zögernd durchsetzen können. Erst im Jahre 1875 konnten Vertreter von 17 Staaten mit der Internationalen Meterkonvention [2] ein erstes internationales metrologisches Vertragswerk unterzeichnen. Die historische Herausbildung von sieben physikalischen Einheiten zu den heutigen Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI) war und ist sehr eng mit der Arbeit der Organe der Meterkonvention verbunden.

Im Rahmen der Internationalen Meterkonvention treten Delegierte aller Mitgliederstaaten mindestens alle sechs Jahre einmal zur Generalkonferenz für Maß und Gewicht (Conférence Générale des Poids et Mesures; CGPM) zusammen. Die Generalkonferenzen werden vom Internationalen Komitee für Maß und Gewicht (Comité International des Poids et Mesures; CIPM) und seinen Beratenden Komitees vorbereitet. Als wissenschaftliches Institut der Meterkonvention wurde das Internationale Büro für Maß und Gewicht (Bureau International des Poids et Mesures; BIPM) in Sèvres bei Paris eingerichtet, das unter der Aufsicht des CIPM arbeitet und „die weltweite Einheitlichkeit der physikalischen Maße zu gewährleisten" hat [3]. Seit Ende 1974 ist die DDR gleichberechtigtes Mitglied der Internationalen Meterkonvention.

Nachdem zunächst ausschließlich die Betreuung der mechanischen Einheiten im Mittelpunkt ihrer Arbeit stand, haben die Organe der Meterkonvention sich seit den zwanziger Jahren unseres Jahrhunderts in zunehmendem Maße um die Bildung eines geschlosssenen internationalen Einheitensystems bemüht. Im Jahre 1927 wurde der Wortlaut der Meterkonvention den gewachsenen Bedürfnissen angepaßt [4].

In Anbetracht dieser Erweiterung hat das Internationale Komitee seit 1927 Gremien mit der Bezeichnung Beratende Komitees (Comités Consultatifs) eingesetzt, die es über die ihnen zur Prüfung unterbreiteten Fragen gutachtlich beraten sollen. Gegenwärtig gibt es sieben solcher Komitees ([3], S. 56):

- Elektrizität (CCE, seit 1927)
- Photometrie (CCP, seit 1933), seit 1971: Photometrie und Radiometrie (CCPR)
- Thermometrie (CCT, seit 1937)
- Definition des Meters (CCDM, seit 1952)
- Definition der Sekunde (CCDS, seit 1956)
- Messungen an ionisierenden Strahlungen (CCEMRI, seit 1958)
- Einheiten (CCU, seit 1964).

In den folgenden Abschnitten soll die historische Herausbildung von sieben physikalischen Einheiten, die in anderen Einheitensystemen früher oft Grundeinheiten genannt wurden, zu den heutigen Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI) nachgezeichnet werden. Dabei kann auf die Vielzahl experimenteller Details bei der Darstellung dieser Einheiten nicht immer eingegangen werden. Hierfür sei auf die Literatur (z. B. [3] Anhang II und [10]) hingewiesen.

1. Zur Entwicklung der Definition der Längeneinheit Meter

1.1. *Die Prototyp-Definition*

Im Rahmen der Ausarbeitung des Metrischen Systems sollte die Längeneinheit Meter als zehnmillionster Teil des Erdmeridianquadranten festgesetzt werden. Auf der Grundlage von Messungen des Meridianbogens von Dünkirchen bis Barcelona berechnete man die Länge des Meter zu 443,295936 Pariser Linien. Als Verkörperung dieser Einheit wurde ein Endmaßstab aus Platinschwamm geschaffen, der bei 0 °C gerade die vereinbarte Länge von 443,296 Pariser Linien hatte. Dieser Stab wurde in den französischen Staatsarchiven hinterlegt und „metre des archives" genannt. Im französischen Gesetz von 1799 diente er als Grundlage der Meter-Definition [1].

Nach dem Abschluß der Internationalen Meterkonvention mußte die Verkörperung der Längeneinheit präzisiert werden. Mit fortschreitender wissenschaftlicher und technischer Entwicklung entsprach die Maßverkörperung aus Platinschwamm nicht mehr den an sie gestellten Anforderungen an Genauigkeit und Reproduzierbarkeit. Deshalb wurden aus einer Legierung von 90% Platin und 10% Iridium mehrere unter sich gleiche neue Meterstäbe hergestellt, die keine Endmaße mehr, sondern Strichmaße mit nichtsymmetrischem x-förmigen Querschnitt waren.

Auf der 1. Generalkonferenz für Maß und Gewicht im Jahre 1889 wurde aus der Reihe der Meterstäbe ein Exemplar ausgewählt und zum Internationalen Prototyp für das Meter erklärt. Die übrigen Exemplare wurden durch Auslosung an die Mitgliederstaaten der Meterkonven-

[1] Mitteilung aus der Sektion Mathematik/Physik der Pädagogischen Hochschule „Dr. Theodor Neubauer" Erfurt/Mühlhausen.

tion verteilt. Die Meter-Definition war damit von der Meridian-Länge unabhängig geworden. Im Jahre 1893 übernahm das Deutsche Reich die Prototyp-Definition des Meter [5].

Im Jahre 1927 wurde auf der 7. Generalkonferenz diese Definition noch einmal präzisiert, indem auch eine genaue Bestimmung über die Lagerung des Meter-Stabes aufgenommen wurde: „Die Einheit der Länge ist das Meter, definiert durch den bei 0° bestehenden Abstand der Strichmitten zweier mittlerer Strichmarken auf dem im Internationalen Büro für Maß und Gewicht aufbewahrten und durch die Erste Generalkonferenz für Maß und Gewicht als Prototyp des Meter erklärten Platin-Iridium-Stab, wobei dieser dem normalen atmosphärischen Druck unterworfen ist und auf zwei Rollen von mindestens ein Zentimeter Durchmesser aufliegt, die auf derselben horizontalen Ebene und in einem Abstand von 571 mm voneinander symmetrisch angeordnet sind" ([3], S. 23).

Aber auch diese Präzisierung genügte den wissenschaftlichen und technischen Anforderungen in der Mitte unseres Jahrhunderts nicht mehr. Die 11. Generalkonferenz hob im Jahre 1960 die Prototyp-Definition auf. Als Begründung wurde genannt, „daß das Internationale Prototyp das Meter nicht mehr mit einer für die gegenwärtigen Erfordernisse der Metrologie ausreichenden Genauigkeit definiert, daß es andererseits wünschenswert ist, ein unzerstörbares Naturmaß anzunehmen" ([3], S. 31).

Die erreichbare Meßunsicherheit des Meterprototyps liegt zwischen 10^{-7} m und 10^{-6} m. Für die Meßzeugindustrie wurden Längennormale benötigt, die bereits in diese Größenordnung kommen. Hier deuteten sich ernstliche Schwierigkeiten in der weiteren wissenschaftlichen und technischen Entwicklung an, weshalb eine prinzipielle Veränderung der Meterdefinition notwendig wurde.

Dazu schrieben *Engelhard* und *Vieweg* im Jahre 1961: „Es ist nicht anzunehmen, daß die industrielle Entwicklung schon am Ende angelangt ist. Das ist heute so wenig der Fall wie im Jahre 1889, als der Internationale Prototyp noch um mindestens zwei bis drei Zehnerpotenzen über die Genauigkeitsansprüche der Industrie erhaben war. Um daher ersichtliche, schon für die nächste Zukunft vorauszusehende Schwierigkeiten zu vermeiden, durfte nicht länger gezögert werden, die Situation der Längeneinheit grundsätzlich zu bessern" ([6], S. 583).

1.2. *Die Wellenlängen-Definition*

Die Definition der Längeneinheit über eine bestimmte Lichtwellenlänge ist Ausdruck der Suche nach einer natürlichen Einheit. Natürliche Einheiten sind entweder aus der Natur entnommen oder sie sind aus beliebig wiederholbaren und nach gewissen Vorschriften ablaufenden Vorgängen reproduzierbar. Sie sind im Gegensatz zu Prototypen unverlierbar, da sie prinzipiell an jedem Ort und zu jeder Zeit mit naturbedingter Genauigkeit dargestellt werden können.

Maxwell sprach 1870 die Überzeugung aus, daß die Längeneinheit auf einen atomaren Eigenwert zurückgeführt werden kann: „Wenn wir also absolut unveränderliche Einheiten der Länge, Zeit und Masse schaffen wollen, so müssen wir diese nicht in den Abmessungen, in der Bewegung oder in der Masse unseres Planeten suchen, sondern in der Wellenlänge, Frequenz und Masse der unvergänglichen, unveränderlichen und vollkommen gleichwertigen Atome" (nach [6], S. 585 und 586).

Babinet hat 1829 als erster die Definition einer Längeneinheit über die Lichtwellenlänge vorgeschlagen [7]. Der deutsche Astronom *Lamont* hat diese Ideen im Jahre 1839 noch deutlicher dargestellt [8]. Die Definition einer natürlichen Längeneinheit hätte dabei etwa so lauten können: Die Länge 1 ist das n-fache des gegenseitigen Abstandes d der äquidistanten Spalte eines Beugungsgitters, welches die Fraunhofersche Linie D um den Winkel α ablenkt (nach [6], S. 585).

Aus der Sicht des Technikers schlägt 1883 *K. R. Koch* vor, Längenmessungen auf Lichtwellen zurückzuführen: „Es hindert nichts, bei genügender Sorgfalt die Schraube einer Längenteilmaschine auf diese Weise auf eine beliebige Länge nach Lichtwellen auszuwerten. Hierdurch erscheint es möglich, als Maßeinheit direkt die Lichtwelle, das einzige wirkliche und für die gleiche Vibrationsintensität unveränderliche Naturmaß zu benutzen" ([9], S. 512).

Die wichtigste Vorarbeit für die spätere Wellenlängendefinition des Meter erbrachte *Michelson* mit seinem im Jahre 1892 im Internationalen Büro für Maß und Gewicht durchgeführten Anschluß der Wellenlänge der roten Kadmiumlinie an die Längeneinheit. Diese Arbeiten wurden 1906 von *Benoît, Fabry* und *Perot* und später von anderen Physikern nach verschiedenen Methoden wiederholt.

Im Jahre 1907 nahm die drei Jahre zuvor gegründete Internationale Vereinigung für Sonnenforschung (International Union for Co-Operation in Solar Research, IUCSR) den von *Benoît, Fabry* und *Perot* bestimmten Wert für die Wellenlänge der roten Kadmiumlinie in spektroskopischer Normalluft als Grundlage für die Messung der Wellenlänge von Spektrallinien an. Solche Messungen konnten in Interferenzapparaten schon mit einer relativen Unsicherheit von 10^{-8} durchgeführt werden.

Aus praktischen Gründen wurde dieser Bezugswellenlänge nicht der Wert 1, sondern der Wert 6438,4696 Å zugeordnet, wobei der Zahlenwert so gewählt wurde, daß innerhalb der erreichbaren relativen Meßunsicherheit für das Meter von etwa $5 \cdot 10^{-7}$ galt: $1\ \text{Å} = 1 \cdot 10^{-10}$ m [6].

Die Längeneinheit Ångström (Å) wurde also viel früher als das Meter mit Hilfe von Lichtwellenlängen definiert. Messungen von Lichtwellenlängen konnten in Ångström auf 10^{-8} genau, in Meter jedoch nur auf $5 \cdot 10^{-7}$ genau durchgeführt werden ([10], S. 102). So sahen sich die Physiker und Astrophysiker gezwungen, insbesondere bei spektroskopischen Untersuchungen von dieser präziser als das Meter definierten Längeneinheit auszugehen.

Wesentliche Impulse für die Umstellung von der Prototyp-Definition zur Wellenlängen-Definition gingen von *Kösters* aus. Zu seinem Programm gehörte es, scharfe und einfach helle Spektrallinien ausfindig zu machen, die als Urnormal und Nebennormale dienen können.

Diese und andere Bemühungen hatten zur Folge, daß auch die Organe der Meterkonvention eine Prüfung der Definition des Meter ins Auge faßten. 1927 empfahl die 7. Generalkonferenz für Maß und Gewicht erstmalig die Diskussion einer Wellenlängen-Definition des Meter, wobei die Wellenlänge der roten Kadmiumlinie in trockener Luft von 15 °C, von 1 atm Druck und normalem Kohlensäuregehalt von 0,03 Volumen-% mit $\lambda = 6438{,}4696 \cdot 10^{-10}$ m festgelegt wurde. Die Strahlung war dabei an die sogenannte Michelson-Lampe gebunden (nach [6], S. 586).

Obwohl diese Meter-Definition als provisorisch galt, wurden immer mehr industrielle Messungen auf sie bezogen. Hier bot sich die Gelegenheit, die bezüglich ihrer Genauigkeit unbefriedigende Prototyp-Definition zu umgehen. Gesetzlich galt sie aber noch für längere Zeit, da auch die provisorische Wellenlängen-Definition noch erhebliche Mängel aufwies. Die wichtigsten seien hier genannt ([6], S. 587):

- Man ging von Strahlung in der Luft aus und hatte damit die Unsicherheiten der Bestimmung des Zustandes und der Zusammensetzung der Luft in der Definition.
- Die verwendete Strahlung ist nicht streng monochromatisch, denn natürliches Kadmium ist ein Gemisch von 8 Nukliden. Die Linien sind mit Hyperfeinstruktur behaftet.
- Die Definition ist an die Michelson-Lampe gebunden. Diese war aber technisch überholt.
- Die von der Michelson-Lampe emittierte rote Kadmiumlinie steht gegenüber anderen Linien wegen ihrer relativ großen Halbwertsbreite an Genauigkeit zurück. Außerdem ist die Linie unsymmetrisch.

Durch die Kriegsereignisse waren die Bemühungen um eine Neuformulierung der Meter-Definition zunächst zum Erliegen gekommen. In der Zwischenzeit wurden Erfolge bei der Herstellung und Untersuchung monochromatischer

Strahlungen von erforderlicher Qualität erzielt. Man suchte längere Zeit eine monochromatische Strahlung im strengen Sinn, d. h. Strahlung mit minimaler Profilbreite und ohne Struktur. Das Problem der Struktur konnte gelöst werden, indem man die Strahlung nicht mehr von einem Nuklidgemisch, sondern von einem reinen Nuklid abnahm. Außerdem war durch die Wahl eines Nuklids mit gerader Massenzahl und gerader Kernladungszahl auch die Hyperfeinstruktur auszuschalten.

Als wichtige Vorarbeit kann hierfür angesehen werden, daß die deutschen Physiko-Chemiker *Clusius* und *Dickel* mit dem von ihnen im Jahre 1938 entwickelten Trennrohrverfahren einen bequemen Weg zur Herstellung größerer Mengen reiner Nuklide gewiesen haben. Im Jahr 1942 konnten sie so auch das Nuklid ^{86}Kr zum ersten Mal in großer Reinheit darstellen.

Auf der 10. Generalkonferenz für Maß und Gewicht 1954 wurde über eine neue Meter-Definition diskutiert. Da aber auf dieser Zusammenkunft noch kein Beschluß gefaßt wurde, blieb man in der Anordnung über die Tafel der gesetzlichen Einheiten der DDR von 1958 noch bei der Prototyp-Definition [11].

Erst auf der 11. Generalkonferenz im Jahre 1960 wurde mit der Resulution 6 über die neue Meter-Definition entschieden: „Das Meter ist das 1650763,73fache der Wellenlänge der vom Atom des Nuklids ^{86}Kr beim Übergang vom Zustand $5\,d_5$ zum Zustand $2\,p_{10}$ ausgesandten, sich im Vakuum ausbreitenden Strahlung" ([3], S. 31).

Außerdem wurde in der Resulution 7 das Internationale Komitee aufgefordert:

„1. Regeln für die praktische Darstellung des Meter nach der neuen Definition aufzustellen;

2. sekundäre Wellennormale für die interferentielle Längenmessung auszuwählen und Regeln für ihren Gebrauch aufzustellen;

3. die laufenden Arbeiten zur Verbesserung der Wellenlängennormale fortzusetzen" ([3], S. 32).

Diese Definition hat gegenüber der von 1927 einige Vorteile ([6], S. 587):

– Man legt Strahlung im Vakuum und nicht in Luft zugrunde.

– Es wird Strahlung von Atomen eines reinen Nuklids verwendet. Da $^{86}_{36}$Kr sowohl eine gerade Massenzahl als auch eine gerade Kernladungszahl hat, ist die Kernspinquantenzahl 0, was auch wiederum bewirkt, daß keine Linienaufspaltung eintritt.

– In die Definition geht keine Vorschrift über die Art und Weise ein, wie die Strahlung zu erzeugen ist. Sie ist damit vom Wandel der Lichtquellentechnik unabhängig.

Das Internationale Komitee (CIPM) hat noch im gleichen Jahr 1960 eine entsprechende Empfehlung zur Darstellung des Meter herausgegeben. Hiernach soll eine Gasentladungslampe mit Glühkatode verwendet werden, die ^{86}Kr mit einem Reinheitsgrad von mindestens 99% enthält, um bei der Temperatur von 64 K die Anwesenheit von festem Krypton zu garantieren. Bei der Einhaltung noch weiterer geforderter technischer Parameter kann die Wellenlänge der in der Meter-Definition genannten Strahlung mit einer relativen Unsicherheit von $4 \cdot 10^{-9}$ realisiert werden ([3], S. 48). Bei noch härteren Anforderungen würde man mit einer relativen Unsicherheit von 10^{-9} etwa die technische Grenze dieser Anlage für die Darstellung des Meter erreichen ([10], S. 135).

Im ASMW der DDR stehen entsprechende Krypton-Strahlungsquellen als Primärnormal sowie geeignete andere Gasentladungslampen (^{114}Cd, ^{198}Hg) als Sekundärnormale zur Verfügung. Die Längeneinheit kann mit $1 \cdot 10^{-8}$ relativer Meßunsicherheit dargestellt werden ([12], S. 10; [13], S. 246).

Für die Übertragung der Einheit sowie ihrer Teile und Vielfachen auf Sekundärstrahlungsquellen, Parallelendmaße und Strichmaße wurden entsprechende Einrichtungen geschaffen. So dient z. B. ein 1 m-Endmaßkomparator zum Anschluß von Parallelendmaßen höchster Ordnung bis 1 m Nennlänge an die Krypton-Wellenlänge mit einer Meßunsicherheit von $3 \cdot 10^{-8}$ m [12].

In das Gesetzwesen der DDR ist die neue Meter-Definition im Rahmen der Tafel der gesetzlichen Einheiten vom 26. November 1968 übernommen worden: „Das Meter ist gleich 1650763,73 Vakuum-Wellenlängen der Strahlung, die dem Übergang zwischen den Niveaus $2\,p_{10}$ und $5\,d_5$ des Atoms Krypton 86 entspricht" ([14], S. 11).

Nachdem es zunächst so aussah, als wenn man bei dieser Definition längere Zeit bleiben würde, werden in neueren Arbeiten zwei durch Helium-Neon-Laser erzeugte monochromatische Strahlungen, an eine gesättigte Absorptionslinie des Jod oder des Methan gebunden, als Wellenlängennormale empfohlen. Diese Strahlungen sind mit einer relativen Unsicherheit in der Größenordnung 10^{-10} reproduzierbar ([3], S. 48). Es wird auch auf die Möglichkeit hingewiesen, das Meter durch die Festlegung eines Wertes für die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit zu definieren. Dadurch würde es möglich, die erreichte relative Unsicherheit bei der Darstellung der Sekunde für die Darstellung des Meter zu nutzen ([10], S. 135).

Literatur

[1] Grundlagen des dezimalen metrischen Systems oder Messung des Meridianbogens zwischen den Breiten von Dünkirchen und Barcelona (ausgeführt im Jahre 1792 und in den folgenden von *Méchain* und *Delambre*). Paris: 1806 (I. Band), 1807 (II. Band), 1810 (III. Band). In Auswahl übersetzt und herausgegeben von Dr. *Walter Block*. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften (Nr. 181), Leipzig 1911.

[2] Internationale Meterkonvention vom 20. Mai 1875. Reichsgesetzblatt von 1876, S. 191 – 212.

[3] SI. Das Internationale Einheitensystem. Übersetzung der vom Internationalen Büro für Maß und Gewicht herausgegebenen Schrift „Le Systeme International d'Unités (SI)". Berlin: Akademie-Verlag 1977.

[4] Gesetz vom 25. Mai 1927 über die Abänderung der am 20. Mai 1875 in Paris unterzeichneten Internationalen Meterkonvention und des ihr beigefügten Reglements. Reichsgesetzblatt von 1927, Teil II, S. 409.

[5] Gesetz vom 26. April 1803, betreffend die Abänderung der Maß- und Gewichtsordnung. Reichsgesetzblatt von 1893, S. 151 – 152.

[6] *Engelhardt, E.; Vieweg, R.:* Über die neue Definition des Meters auf Grund einer Lichtwellenlänge. Zeitschrift für angewandte Physik **13** (1961) H. 12, S. 580 – 596.

[7] Annales de Chimie et de Physique **40** (1829) S. 166.

[8] *Lamont, J.:* Festsetzung des öffentlichen Maß- und Gewichtswesens. Maßbestimmung durch die Diffraction des Sonnenlichtes. Jahrbuch der Königlichen Sternwarte München **2** (1839) S. 188 – 212.

[9] *Koch, K. R.:* Über eine Methode, die Mikrometerschraube zu prüfen. Annalen der Physik und Chemie, Neue Folge **18** (1883) S. 511 und 512.

[10] *Bender, D.; Pippig, E.:* Einheiten, Maßsysteme, SI. Berlin: Akademie-Verlag 1975.

[11] AO vom 31. Oktober 1958 über die Tafel der gesetzlichen Einheiten. Gesetzblatt der DDR, Sonderdruck Nr. 289, 15. Dezember 1958.

[12] Meß- und Prüfmöglichkeiten des DAMW – Bereich Meßwesen, Herausgegeben vom Deutschen Amt für Meßwesen und Warenprüfung. Berlin: DAMW 1972.

[13] *Handke, D.; Neuleib, H.:* Die Längeneinheit Meter und ihre Darstellung im ASMW. Feingerätetechnik **24** (1975) H. 6, S. 243 – 246.

[14] AO vom 26. November 1968 über die Tafel der gesetzlichen Einheiten. Gesetzblatt der DDR, Sonderdruck Nr. 605, 1. März 1969.

msr 6756 (Beitrag wird fortgesetzt)

6th Global Modelling Conference

Die Tagung Global Modelling vereinigte vom 16. bis 21. Oktober 1978 in Wien Spezialisten aus vielen Ländern und gestattete einen ausgezeichneten Einblick in Stand und Probleme der globalen Modellierung.
Das Diskussionsforum umfaßte Vertreter aus folgenden Ländern
UdSSR, USA, Kanada, ČSSR, DDR, BRD, Japan, Ungarische VR, Niederlande, VR Polen, England, Schweiz, Schweden, Belgien, VR Bulgarien, Brasilien, Finnland, Italien, Indien, SR Rumänien.
Folgende internationale Organisationen nahmen teil:
International Labour Organisation (TLO), United Nations, Economic Affairs Office, United Nation Institute for Training and Research (UNITAR),
Unites Nations Industrial Development Organization (UNIDO),
World Bank, Economic Analysis and Projects Department,
IIASA (als Organisator)
Die Tagung behandelte die Schwerpunkte:

- Zweck und Ziele der globalen Modellierung
- Methodologische Probleme
- Stell- und Steuergrößen (policy variables) in globalen Modellen
- Strukturelle Aspekte
- Testen globaler Modelle
- internationale Organisation der globalen Modellierungsarbeit
- Beziehungen zwischen Modellentwicklern und Nutzern
- neue Modelle und methodologische Aspekte (Lernprozesse in globalen Modellen, Technologie, Bewohnungsplanung und Nord-Süd-Relation, Testen sozialerStrategien an integrierten Weltmodellen, Handwerkzeuge zum Verstehen sozialer Mechanismen, globale Modelle für Handel, Kapitalfluß und Entwicklung, Struktur und Resultate eines BRD-Modells, Simulation ökologischer Systeme, nichtnumerische Simulation von cognitiven Prozessen des Menschen, Pazifik-Modell, ökologische Experimente mit Planungsmodellen, Konsumtion als Input-Output-Modell u. a.)

Auf der Tagung waren somit alle wesentlichen Gruppen der globalen Modellierung der Welt vertreten, insbesondere

Projektleiter	**Modell**	**Methode/Topics**
Meadows (USA)	The Limits to Growth	Systems Dynamics
Kaya (Japan)	A New Vision for Development	Control Theory
Cole (GB)	Global Models and the international Economic Order	Comparison
Linnemann (Niederlande)	MOIRA International Relations in Agriculture	World Food
Roberts (GB)	SARUM-Department of Environment	World Economy
Mitgl. der Gruppe (USA, Frankreich)	Strategy for Survival	Hierarchial Systems The Theory
Carter (USA)	The UN World Modell	Input-Output-Modell

Als kritischen Vertreter der globalen Modellierung muß Prof. *Rademaker* (Niederlande) erwähnt werden.
Als Grundlage für die Diskussion wurden von einigen führenden Vertretern (wie *Meadows, Cole, Rademaker, Carter* u. a.) vorgegebene Fragen des IIASA Global Modelling Questionnaire schriftlich beantwortet und zur Eröffnung von Diskussionsgruppen zu den genannten Themen vorgetragen.

Meadows gab in ihrem Beitrag zu „Purposes and Goals of Global Modelling" eine Einschätzung zur Nutzung von Rechnermodellen. Sie sind nützlich für wissenschaftliche Zielstellungen (Prüfung wissenschaftlicher Hypothesen, Identifikation von Subsystemen, Training der interdisziplinären Arbeit, Verstehen komplexer sozioökonomischer Systeme) und strategischer Fragen (Auswahl von Strategien zur Steuerung, zur Untersuchung der Sensitivität von Teilsystemen oder ihrer Unabhängigkeit Demonstration der Komplexität von sozioökonomischen Systemen u. a.). Nicht zu erwarten sind mit Rechnermodellen präzise Vorhersagen, vollkommene Simulationen von Systemen in „totaler" Vollständigkeit. Die Aufstellung von Zielen (Optimierungskriterien) seien Aufgaben der Modellentwickler, nicht die der Rechner. Spezifische Probleme, die mit dem globalen Modellieren zu behandeln seien, sind

- Diskussion gesellschaftlicher Probleme, die in Übergangsphasen durch wachsende Abhängigkeit der menschlichen Gesellschaft hinsichtlich globaler Probleme des Friedens, der Ernährung usw. entstehen
- Untersuchung von möglichen Entwicklungen des Weltsystems hinsichtlich der fundamentalen Probleme
- Verbesserung der „Lebensqualität" (wie beeinflussen soziale, ökonomische und politische Prozesse das „Lebensniveau")
- Finden von Wegen zur Verbesserung der Lebensbedingungen der Entwicklungsländer
- Finden von Mechanismen zur Steuerung der Wachstumsrate
- Lösung von Verteilungsproblemen für produzierte Güter (Aufdeckung der Gründe für „falsche" Verteilung)
- Entwurf von ökonomischen Systemen, die nicht vom physikalischen Wachstum (Ressourcen) abhängig sind
- Untersuchungen zur multinationalen Kooperation im Welthandel und zur ökonomischen Entwicklung.

Forschungskapazität und finanzielle Mittel sollten von der Aufgabe bestimmt werden (und nicht umgekehrt). Grundlagenforschung ist sorgfältig festzulegen hinsichtlich der Forschungsziele. Es ist mehr Zeit für das Testen von Modellen zu planen. Die Hälfte der Zeit und der Kapazität sind für die Dokumentation vorzusehen!
Cole äußerte zur Methodologie der globalen Modellierung, daß sie vor allem oder nur im Zusammenhang mit dem zu modellierendem Objekt zu sehen sei. Er gab Hinweise, Modelle so einfach wie möglich und hinsichtlich der Hauptresultate als analytisch lösbar zu entwickeln.
Rademaker beantwortete Fragen zu den strukturellen Aspekten der globalen Modellierung und forderte, daß mit den Modellen auch Datensätze zum Beurteilen und Testen der Modelle zur Verfügung stehen sollen. A priori — und A posteriori — Informationen sind für den Grad der Strukturierung entscheidend.

Da die Ziele der Modellierung bereits in der Modellierungsphase eine Rolle spielen, sind die Beziehungen zwischen Modellentwickler und Auftraggeber von besonderer Bedeutung.

Robinson charakterisierte die Entwicklung so: Globale Modellierung begann als durch Auftraggeber veranlaßte Arbeit und entwickelte sich in der Folgezeit immer mehr akademisch und kundenunabhängig. Dies hatte Folgen für den Dokumentationsteil und die allgemeinen Beziehungen zu den möglichen Interessenten. Neue Wege zur Veränderung der Situation wurden genannt, wie Bildung von Instituten, die die Aktivitäten von Kunden mit einschließen.

Roberts berücksichtigt Lerneffekte in der globalen Modellierung, d. h. mögliche Stabilisierungsmaßnahmen der Gesellschaft hinsichtlich der Grundprobleme des Wachstums.

Es soll auf die Vielzahl von Meinungs- und Erfahrungsäußerungen hingewiesen werden. Die Tagung gab ein nüchternes Bild zum Stand der globalen Modellierung. Die Diskussionsschwerpunkte zeigten wichtige Wege zur Weiterentwicklung und Nutzung.

Wichtige neue Modellierungsarbeiten befaßten sich mit

- Methodology of Global Modelling (*Dubovsky, Klokow, Larin* u. a.)
- Technology, Domestic Distribution North South Relation (*Cole*)
- Testing the AAL Integrated World Model (*Kile*)
- Development of Fugi – Escap Model (*Kaya, Onishi*)
- The Global 2000 Study (*Robinson*)
- A Global Modell for Interregional, Intemporal Analysis of Trade, Capital Flows and Development (*Gupta, Padula*)
- Experiments in Ecologically Embedded Programme Planning (*Medow*)
- Modelling of Regional Utilities and Access to Consumption and Services (*Kulikowski*)
- The East/West Center Projekt Pacific Basin Model/MP (*Moore*)
- The ISP Model for the FRG – Structure and Results (*Bauerschmidt, Möller, Oest*)

msr 6941 *A. Sydow*

12. Fachkolloquium Informationstechnik

Die Sektion Informationstechnik der TU Dresden veranstaltete vom 30. Januar bis 1. Februar 1979 ihr diesjähriges Fachkolloquium Informationstechnik.

In diesem Jahr wurde das Fachkolloquium vom Wissenschaftsbereich „Akustik und Meßtechnik“ unter dem Thema

„Zu Problemen der Technischen Akustik, der elektromechanischen und elektronischen Meßtechnik“

gestaltet.

Zu dieser Thematik wurden in vier Themengruppen insgesamt 4 Plenar- und 95 Kurzvorträge sowohl von Angehörigen der TU Dresden und anderer wissenschaftlicher Einrichtungen als auch von Partnern aus der Industrie sowie von ausländischen Wissenschaftlern gehalten. Der größte Teil dieser Vorträge wurde in drei Tagungsheften sowie in [1] veröffentlicht.

Die Tagung wurde von etwa 570 Teilnehmern besucht, darunter von etwa 220 Vertretern aus der Industrie und rd. 250 Angehörigen des Hochschul- und Institutsbereichs (außerhalb der TU Dresden). Die Teilnahme von 24 Gästen aus dem sozialistischen Ausland und einem Gast aus Österreich, die mit insgesamt 18 Kurzvorträgen am Tagungsprogramm beteiligt waren, dokumentiert den Stand und die Bedeutung internationaler Zusammenarbeit bei der Lösung wichtiger wissenschaftlich-technischer Aufgabenstellungen.

Themengruppe A: Raum- und Bauakustik/Lärmbekämpfung

Die Vorträge dieser Gruppe waren fünf Themenkomplexen zugeordnet.

1. *Störende und schädigende Wirkungen des Lärms*

In einem Plenarvortrag von *W. Kraak* (TU Dresden) wurde die Anwendung des Dosisprinzips im Dresdener Gehörschädigungsmodell auch für Schlagimpulslärm nachgewiesen. Von *J. Plundrich* (Zentralinstitut für Arbeitsschutz Dresden) wurde für dieses Modell eine genauere Nachbildung der Altersschwerhörigkeit vorgestellt.

H. Rentzsch (TU Dresden) und *A. Schönfeld* (TU Dresden) zeigten, daß die Leistungsbeeinflussung durch Lärm in starkem Maße von subjektiven Faktoren und Tätigkeitsstrukturen abhängig ist.

2. *Raumakustik*

W. Reichardt (TU Dresden) berichtete über Erfahrungen beim Wiederaufbau der Semper-Oper in Dresden, *F. Steffen und H. Winkler* (Bauakademie der DDR, Berlin) referierten über raum- und elektroakustische Maßnahmen im Palast der Republik Berlin.

In einem Vortrag von *G. Schroth* und *W. Wöhle* (TU Dresden) wurde gezeigt, wie durch geeignete phasendrehende Vierpole akustische Störeffekte bei elektrisch gemischten verzögerten Signalen vermindert werden können.

3. *Bauakustik*

Ein Übersichtsvortrag von *W. Wöhle* (TU Dresden) und vier weitere Vorträge von *T. Beckmann* (TU Dresden), *A. Gottschalk* (TU Dresden), *H. Schreckenbach* (TU Dresden) und *K. Töpfer* (HfV Dresden) stellten Theorie und Anwendung der statistischen Energieanalyse im Bauwesen und im Reisezugwagenbau vor.

Weitere Arbeiten hatten Schallabstrahlungsprobleme (*E. Lotze*, Zentralinstitut für Arbeitsschutz Dresden) und Verfahren zur Berechnung der Körperschallanregung durch Maschinen (*R. Melzig-Thiel*, Zentralinstitut für Arbeitsschutz Dresden) zum Gegenstand.

4. *Lärmbekämpfung*

Von *P. Költzsch* (Zentralinstitut für Arbeitsschutz Dresden) wurde gezeigt, wie eine Normierung der Parameter bei Aus- und Anströmungsvorgängen mit Hilfe der Strouhal-Zahl die Vorausbestimmung der Schalleistungsspektren für große Anwendungsbereiche erlaubt.

Von *C. Engler* (IHS Zwickau) wurden Entwicklungstendenzen sowie Masse-, Geschwindigkeits- und Herstellungspreisabhängigkeiten der Innengeräusche von Kraftfahrzeugen nachgewiesen.

5. *Akustische Meßtechnik*

Von *H. Weissing* (VEB Robotron-Meßelektronik Dresden) wurden eine Reihe neuer akustischer Meßgeräte von VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden vorgestellt.

L. Wogeck (Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden) führte ein Verfahren zur direkten Messung der Schallintensität mit zwei Meßmikrofonen vor. Weitere Vorträge hatten die Absolutkalibrierung von Meßmikrofonen (*A. Odin*, ASMW Berlin), rationelle Methoden zur räumlichen Mittelung von Schallfeldern (*N. Schenke*, VEB Robotron-Meßelektronik Dresden) und die Messung des Übertragungsverhaltens von Maschinenstrukturen (*B.-G. Haustein*, Zentralinstitut für Arbeitsschutz Dresden) zum Gegenstand.

Themengruppe B: Elektromechanische Meßtechnik

Die Vorträge dieser Gruppe waren überwiegend anwendungsorientiert. In einem Plenarvortrag beschrieben *E. Baumann* und *G. Pfeifer* (VEB Robotron-Meßelektronik Dresden) die elektrische Kraftmeßtechnik als eines der genauesten Verfahren und zeigten zukünftige Entwicklungstendenzen auf. Diese Ausführungen wurden durch den Vortrag von *T. Kemeny* (MIKI Budapest) vom Standpunkt eines Herstellers von Wägezellen ergänzt.

K. Fock (TU Budapest) stellte am Beispiel einer Kraftmessung an Lagern von Dampfturbinen einen Anwendungsfall vor, der unter extrem erschwerten Umgebungsbedingungen mit magnetoelastischen Wandlerelementen gelöst werden konnte.

Ein Komplex von fünf Vorträgen beschäftigte sich mit Entwurf und Konstruktion piezoresistiver Wandler. Sie zeigten u. a. den technischen Stand, der gegenwärtig an der TU Dresden auf diesem Gebiet erreicht wurde. Im Vortrag von *H.-J. v. Martens* (ASMW Berlin) über den Stand der Kalibriertechnik von Beschleunigungsaufnehmern konnte über eine unerwartet kleine Streuung der Meßwerte bei einem Ringversuch mit Teilnehmern aus dem Kreis der Nutzer von Schwingungsmeßgeräten berichtet werden. Zwei Vorträge über elektroakustische Wandler (*J. Merhaut*, TH Prag, und *W. Temkov*, Sofia) sowie über Probleme der Schwingungstechnik (*Z. Skvor*, TH Prag und *E. Heinig*, TU

Dresden) sowie Vorträge zur Prozeßmeßtechnik (*T. Csubák*, *L. Kuti*, TU Budapest) rundeten das Vortragsprogramm ab.

Theoretische Aspekte des Themengebietes wurden in zwei Vorträgen behandelt. *E.-G. Woschni* (TH Karl-Marx Stadt) zeigte die gegenseitige Abhängigkeit von dynamischen und zufälligen Fehlern und die Grenzen der Korrigierbarkeit dynamischer Fehler. *P. Maisser* (TH Ilmenau) stellte einen sehr allgemeinen Algorithmus auf, der es gestattet, die Lagrange-Differentialgleichungen diskreter holonomer mechanischer Systeme rechnergestützt aufzufinden.

Themengruppe C: Elektronische Meßtechnik

Der Breite des Fachgebietes entsprechend, wurden in den 24 Vorträgen der Gruppe „Elektronische Meßtechnik" eine Vielzahl aktueller und interessanter Probleme behandelt. Der Themenkreis reichte von der Darstellung elektrischer Einheiten (*W. Schlesok*, ASMW Berlin) über Untersuchungen spezieller Meßwandler und Meßverfahren (*N. P. Udalov*, Luftfahrtinstitut Moskau, *H. Seifart*, TH Magdeburg, *G. Schommartz*, WPU Rostock, *G. Witzschel*, TH Karl-Marx-Stadt, *E.-G. Kranz*, TU Dresden, *D. Kämpfer*, TH Ilmenau, *G. Antons*, TU Budapest u. a.) bis zur Gestaltung automatischer Meß- und Prüfsysteme (*H. Borutta*, VEB Funkwerk Erfurt).

Dabei waren sowohl Ergebnisse theoretischer Untersuchungen als auch praktische Erfahrungen Gegenstand der Darlegungen.

Der einleitende Plenarvortrag „Stand und Tendenzen der elektronischen Meßtechnik" von *U. Frühauf* (TU Dresden) zeigte grundsätzliche Entwicklungstendenzen anhand von Parametern typischer Meßsysteme auf und verdeutlichte den Einfluß der elektronischen Bauelementetechnik auf die Gestaltung von Meß- und Prüfsystemen.

Eine größere Gruppe von Vorträgen behandelte Fragen automatischer Meßeinrichtungen und trug damit einer bestimmenden Entwicklungstendenz im Fachgebiet Rechnung. Im Vordergrund standen neue Ergebnisse bezüglich des Einsatzes von Mikrorechnern in der Prüftechnik und damit verbundene Probleme der Meßstrategie (Erarbeitung von Prüfalgorithmen), der Meßwertverarbeitung und Steuerung. Interfaceprobleme nahmen entsprechend ihrer Bedeutung einen breiten Raum ein, wobei besonders das byteserielle-bitparallele Interface (IEC-Bus) Berücksichtigung fand (*G. Naumann*, VEB Robotron-Meßelektronik Dresden, *W. Meiling*, TU Dresden, *H. Leuterer*, TU Dresden, *A. Bachouche*, TU Dresden, *P. Jakubik*, TU Dresden).

Ausführungen zu Meßwandlern und speziellen Meßverfahren zeigten neue rationelle Möglichkeiten und wichtige Gesichtpunkte für die Gestaltung von Meßsystemen.

Weitere Vorträge waren der Prüftechnik gewidmet (*L. Geiger*, *U. Frühauf*, TU Dresden; *B. Richter*, TU Dresden; *P. Slowig*, TU Dresden; *H.-D. Prange*, TU Dresden; *H. Krambeer*, IHS Wismar; *D. Hübner*, TH Karl-Marx-Stadt; *G. Steger*, VEB Steremat Berlin u. a.). Dabei standen neben der Prüfung digitaler Baugruppen vor allem Verfahren zur Parameterbestimmung bzw. Fehlerlokalisierung in analogen Schaltungen im Mittelpunkt. Ein Rundtischgespräch zu Fragen der technischen Diagnose analoger Schaltungen führte Fachkollegen aus der Industrie und aus Hochschuleinrichtungen zusammen. Hier bildeten Probleme der technologischen Voraussetzungen für die Testerarbeitung sowie die technische Reife der Verfahren den Mittelpunkt der Diskussion.

Themengruppe D: Spracherkennung und Sprachsynthese/Objekterkennung

Der Stand der rechentechnischen Entwicklung liefert heute derartige potentielle Möglichkeiten, daß neuartige Anwendungen von Rechnerstrukturen als „intelligente Werkzeuge" und die Kommunikation mit solchen Mitteln hochaktuelle Fragen geworden sind. Aus der Sicht der sprachakustischen Forschung interessieren dabei besonders Probleme der phonetischen Ein- und Ausgabe, die im Rahmen dieser Vortragsgruppe behandelt wurden; einen Überblick über aktuelle Probleme der automatischen Sprachverarbeitung vermittelte *W. Tscheschner* (TU Dresden).

Entsprechende Lösungen erfordern Systemstrukturen, die vielschichtige Funktionskomplexe in sich vereinigen. Signalvorverarbeitung, analytische Meßwertbehandlung, numerisch-strukturelle Klassifikation, linguistische Korrektur und semantische Interpretation auf der Eingabeseite sowie semantisch-linguistische Satzerarbeitung, Lexem- und Phonemwahl, Merkmalgenerierung und Signalsynthese auf der Ausgabeseite sind Ebenen, die im Rahmen einer geschlossenen Systemlösung als auch als mehr oder weniger isolierte Teilprobleme gesehen werden können.

Probleme der Spracherkennung wurden in den Vorträgen von *C.-M. Westendorf* (TU Dresden), *W. Menzel/K. Püschel* (TU Dresden), *L. Seveke* (TU Dresden), *U. Kordon* (TU Dresden), *R. Kühn* (TU Dresden) und *H. Kubzdela* (Poznań) behandelt, während Aspekte der Sprachausgabe in den Vorträgen von *V. Naumburger*, *K. Püschel* (TU Dresden) und *D. Mehnert* (Humboldt-Universität zu Berlin) zur Sprache kamen.

Eine Reihe weiterer Beiträge zeigte die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten von Methoden der Objekterkennung, beispielsweise in der Medizin (*S. Fuchs*, Forschungsinstitut für medizinische Diagnostik, Dresden), der Prozeßregelung (*I. Lovanyi*, TU Budapest), der Pädagogik (*W. Schwarz*, und *H.-J. Lieske*, Akademie der pädagogischen Wissenschaften, Dresden) und der Fehlerfrüherkennung (*F. Sösemann*). *W. Schönborn* stellte ein System zur Schriftzeichenerkennung vor, während die Beiträge von *W. Jeske* (TU Dresden) und *B. Michaelis* (TH Magdeburg) allgemeine Fragen der Merkmaloptimierung zum Gegenstand hatten.

Literatur

[1] Nachrichtentechnik/Elektronik 28 (1979) H. 1, S. 4–41; H. 3, S. 100–128.

msr 6938 *C.-M. Westendorf*

Symposium Informationsverarbeitung

Anläßlich des 10jährigen Bestehens der Sektion Informationsverarbeitung der TU Dresden [1] wurde das alljährlich durchgeführte gleichnamige Symposium für Studenten und junge Wissenschaftler [2], inhaltlich erweitert, am 1. und 2. Februar 1979 in Dresden durchgeführt. An zwei Tagen wurden vormittags im Plenum Übersichtsvorträge von Wissenschaftlern der Sektion Informationsverarbeitung und von Kooperationspartnern gehalten und nachmittags in drei parallelen Sektionen Vorträge zu speziellen Gebieten diskutiert. Durch die Plenarvorträge ergab sich eine kompakte Übersicht über einen großen Teil der Wissenschaftsdisziplin Informationsverarbeitung. Wenn auch das Gebiet der Informationsverarbeitung nicht vollständig behandelt werden konnte, fand jedoch gerade dieser Teil des Symposiums bei vielen Teilnehmern Anerkennung.

Nach dem Festvortrag des Sektionsdirektors, Prof. Dr. *Schubert* (TU Dresden), zum 10jährigen Bestehen der Sektion waren die nachfolgenden Plenarvorträge des ersten Tages der Programmierungstechnik gewidmet. Prof. Dr. *Herrlich* (TU Dresden) diskutierte Inhalt und Grenzen der Methodologie und Theorie der Programmierung; Prof. Dr. *Stiller* (TU Dresden) führte eine vergleichende Bewertung der Eignung von höheren Programmiersprachen zur Unterstützung des Programmentwurfes und der Programmtestung durch; Dr. *Loeper* (TU Dresden) diskutierte die ingenieurtechnischen Mittel der Synthese von Übersetzungsprogrammen für höhere Programmiersprachen. Leider fehlte in diesem Ensemble ein Übersichtsvortrag zu Operationssystemen.

Die gerätetechnische Komponente der Informationsverarbeitung wurde in drei Vorträgen charakterisiert: Prof. Dr. *Merkel* (VEB Kombinat Robotron) diskutierte den Stand und die Perspektive von Rechnerarchitekturkonzepten, Prof. Dr. *Löffler* (TU Dresden) zeigte die Wirk-

samkeit der Mittel zur Bewertung von Rechnersystemen bei deren Analyse und Synthese, und Prof. Dr. *Stahl* (TU Dresden) erläuterte die Probleme der weiteren Entwicklung der rechentechnischen Basis der TU Dresden.
Die Entwicklung und Nutzung von rechnerunterstützten Informationssystemen ist eng — wenn auch im unterschiedlichen Umfang — mit dem jeweiligen Basissystem verbunden. Prof. Dr. *Stahn* (TU Dresden) leitete aus den Erfahrungen bei der Implementation automatisierter Systeme diskreter technologischer Prozesse heuristische und theoretische Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten zur Gestaltung und Entwicklung solcher Systeme ab; Prof. Dr. *Schubert* (TU Dresden) erläuterte die notwendige Einführung der verschiedenen Nutzersichten in das Prinzip der Schichtenarchitektur als Bestandteil der Technologie von Daten- und Programmbanken. Den Stand und die Perspektiven der rechnerunterstützten Systeme für den Hochschulunterricht charakterisierten Prof. Dr. *Heinold* und Dr. *Jungclaussen* (TU Dresden). Prof. Dr. *Müller* (VEB DVZ Dresden) erläuterte Ergebnisse der technologischen Rationalisierung im VEB Datenverarbeitungszentrum Dresden.

Inhaltlich wurden diese Übersichtsdarstellungen durch einen Vortrag von Dr. *Belke* und Prof. Dr. *Heinold* (TU Dresden) zur nationalen und internationalen Einordnung des Studienplanes der Grundstudienrichtung Informationsverarbeitung in die Hochschulausbildung abgeschlossen.
In den parallelen Fachsektionen wurden 30 Vorträge gehalten, die sich mit verfahrenstechnisch-algorithmischen Aufgaben in der Informationsverarbeitung, mit Problemen von Dialog- und Teilnehmersystemen, mit der Verhaltensanalyse von Rechnern und von Rechnersystemen, mit höheren Programmiersprachen und ihrer Implementierung, mit rechnerunterstützten Lehrsystemen sowie mit speziellen automatisierten Informationssystemen befaßten. Dabei waren als gerätetechnische Mittel sowohl EDV-Anlagen und PR-Anlagen als auch Mikrorechner Mittel und Gegenstand der Arbeit. Aus der Gesamtheit dieser Vorträge sollen hier nur die Vorträge *Oettrich*/Dr. *Belke*/*Sämisch* (TU Dresden) zur hierarchischen und nichthierarchischen Klassifizierung und von Dr. *Schnabel*/Pönitz (TU Dresden) zu einem Dialogsystem für das Implementieren und Testen von maschinenorientierten Programmen (ESER) wegen ihres Neuigkeitsgrades genannt werden.

Das Tagungskomitee bereitet die Herausgabe der Vorträge als Broschüre vor.

Literatur

[1] Entwicklung der Sektion Informationsverarbeitung. msr 21 (1978) H. 10, Seiten 582–584.
[2] Symposium Informationsverarbeitung. msr 21 (1978) H. 5, S. 283.

msr 6930 *H. Stahn*

msr AUS DER ARBEIT DER WGMA

7. Jahrestagung des FA Modellierung

Zu seiner 7. Jahrestagung hatte dieser FA alle an den Problemen der Modellierung und Simulation Interessierten wiederum Mitte Dezember (13. und 14. Dezember 1978) nach Rostock eingeladen. Von den 185 Teilnehmern aus Industrie- und Forschungseinrichtungen war jeder siebente aus einem RGW-Land angereist. Für Vorträge und Diskussionen standen die Räume der Wilhelm-Pieck-Universität zur Verfügung. Einem begrenzten Teilnehmerkreis sind auch Geräte der Simulationstechnik vorgeführt worden (Hersteller: ZPA Prag).
In der Eröffnung der Tagung konnte der stellvertretende Generalsekretär der AdW, Prof. *K. Bichtler*, in seiner Eigenschaft als Vorsitzender des Komitees für Angewandte Systemanalyse beim Präsidenten der AdW auf die hohe Bedeutung dieses Fachgebietes hinweisen. Wenn auch zur Zeit keine allgemein anerkannte Definition des Begriffes „Systemanalyse“ existiert, ist man sich doch hinsichtlich der Merkmale einig (etwa: Vielfalt von Wirkungsprinzipien, die ein breites interdisziplinäres Herangehen an regional begrenzte oder auch globale, universelle Probleme ohne eine starre Methodologie erfordern). Anhand einiger Probleme, die von der internationalen Forschungsinstitution IIASA bearbeitet wurden und werden, konnten Aspekte der Systemanalyse herausgearbeitet werden (Beispiele: Intensivierung der Landwirtschaft mit ihren vielfältigen Einflußfaktoren Wetter, Boden, Mensch / Bewertung von Technologien hinsichtlich ihrer unmittelbaren und ihrer möglichen späteren Folgen / Globale Modellierung — als schon selbständiges Fachgebiet — mit Resultaten, die in größerem Zusammenhang (Regierungen, internationale Organisationen) Bedeutung erlangen.
In Fortsetzung dieser Thematik war die durch den Vorsitzenden des FA, Prof. *A. Sydow*, geleitete Sektion I „Stand und Trends der Systemanalyse“ gewidmet. Hier wurden in Übersichtsvorträgen zur Methodologie, zu Problemen in der Wasserwirtschaft, im Verkehrswesen, in der Landwirtschaft beispielhafte Hinweise gegeben, die zum größten Teil in den Spezialsektionen weiterbehandelt worden sind.

Sektion II: Diskrete und kombinierte Simulationssysteme
(Leitung: Dr. *M. Frank*, Dresden; Prof. *G. Schwarze*, Berlin)

Transport-, Umschlag-, Lager- und Fertigungsprozesse werden schon in beachtlichem Umfang unter Anwendung der Simulationsmethode gestaltet. Zunehmend wird sie auch bei wissenschaftlichen Untersuchungen der automatisierten Informationsverarbeitung (Datenbanken, Mehrrechnersysteme) genutzt. Es zeigt sich jedoch gleichzeitig die gesellschaftliche Notwendigkeit, diese experimentelle Methode auch in betrieblichen Problemlösungs- und Entscheidungsprozessen durchzusetzen. Daraus folgen Forderungen an die Software-Entwickler, da bei der Modellbildung, der Versuchsplanung und Modellmanipulation, bei der Ergebnisauswertung und -darstellung der Nutzer, der meist kein Informatiker ist, mehr Unterstützung durch das System erwartet. Erste Schritte zur Erfüllung dieser Forderungen durch Schaffung fachgebietsbezogener Simulationssysteme wurden sichtbar.

Daß aus dem experimentellen Charakter der Simulation die interaktive Arbeitsweise der Systeme folgen muß, wurde mehrfach herausgestellt. Allgemeine Simulationssysteme (wie SIMDIS) mußten dementsprechend bald vervollkommnet und die fachgebietsbezogenen von vornherein dialogfähig gestaltet werden. Aus diesen Entwicklungstendenzen sich ergebende Aufgaben der Informatikforschung, insbesondere auf den Gebieten der Modellierung, der Algorithmenbereitstellung und der Sprachgestaltung, wurden in verschiedenen Vorträgen der Sektion aufgezeigt.

Nachdem auf der 6. Jahrestagung nur ein Plenarvortrag (s. msr 22 (1979) H. 2, S. 97) der Problematik Kombinierte Simulationssysteme gewidmet war, wurde 1978 auf mehrere Aktivitäten aus der ČSSR, DDR und Ungarischen VR näher eingegangen. Damit stehen in naher Zukunft Experimentalsysteme zur Verfügung (Basissprachen FORTRAN und SIMULA 67). Die Diskussion zeigte, daß nunmehr auch bei uns der Schwerpunkt darin zu sehen ist, diejenigen Anwendungsfälle schrittweise herauszuarbeiten, für die die Notwendigkeit und Möglichkeiten des Einsatzes kombinierter Simulationssysteme dominierend nachgewiesen werden kann. Für die Entwicklung derartiger Systeme gelten entsprechend die o. a. Forderungen.

Sektion III: Hybridrechentechnik und Gerätetechnik der Simulation
(Leitung: Prof. *W. Krug*, Köthen)

Die meisten Beiträge zur Gerätetechnik spiegelten die Verbreitung der Erzeugnisse der Firmen Aritma bzw. ZPA Cakovice, Prag, wider (MEDA-Reihe, ADT 3000); nur wenige waren Einzweckaufgaben gewidmet. Bei den Vorträgen zur Hybridrechentechnik wurden vorwiegend Systemunterlagen für Hybridrechner diskutiert (hohe Aktivität seitens der TH Ilmenau). Es zeigte sich hier eine neue Generation von Software-Unterlagen in Richtung der Digitalsimulation ab. Über erste Erfahrungen mit den Anlagen ADT 3000, HRA 7000, HRA 7200

in Forschung und Lehre wurde von Vertretern der HfV Dresden und der TH Ilmenau vorgetragen.

Sektion IV: Modellierung im Energiewesen
(Leitung: Dr. *V. Warko*, Leipzig)
Aus der Sicht des Anwenders wurden in dieser Sektion Aspekte der Modellierung und Simulation als Mittel der Projektierung, der Systemplanung und der Prozeßsteuerung vermittelt. Breiten Raum nahmen die Arbeiten aus dem Bereich Steuerung des Elektoenergiesystems ein. Allgemeine Probleme der Führung dieses Prozesses der durch die starke Verflechtung zu allen Industriezweigen gekennzeichnet ist, führen auf eine Steuerungshierarchie.
Betriebsführung von Elektroenergieverteilungsnetzen kann durch Modelle zur Netzzustandserfassung und -beurteilung auch in Verbundsystemen verbessert werden. Von besonderem Interesse war die Vorgehensweise der Modellbildung, die in dieser Sektion sowohl auf theoretischer als auch auf experimenteller Prozeßanalyse beruhte.
Bei der Modellierung unterirdischer Strömungsvorgänge konnte neben der Berechnung von Strömungsvorgängen auch das Umkehrproblem gelöst werden, d. h. die Bestimmung geologischer Parameter bei bekanntem Strömungsvorgang. Am Beispiel des energieoptimalen Entwurfs einer Wärmepumpenanlage konnte nachgewiesen werden, daß Simulationsprogramme in zunehmendem Maß Bestandteil der Projektierung werden.

Sektion V: Modellierung ökologischer Systeme
(Leitung: Dr. *K. Bellmann*, Berlin)
Deterministische und stochastische Ansätze zur dynamischen Analyse von formalen Ökosystemen waren Bestandteil einer Einführung über Modelle von Simulationsprozessen. Danach wurden Arbeiten zur Entwicklung eines umfassenden Simulationsmodells zur Beschreibung, Verhaltensvorhersage und Steuerung von Ökosystemen vorgestellt, das die wesentlichen, auch real vorkommenden Regelmechanismen abbildet. Neben Arbeiten zu Problemen der Steuerung und Stabilität von Ökosystemen wurde noch zur Entwicklung eines Simulationsmodells zur Beschreibung von natürlichen und künstlichen Selektionsvorgängen innerhalb von Populationen vorgetragen.
Einzelbeiträge befaßten sich mit Stabilitätsproblemen (z. B. in Staugewässern, in mikrobiellen Systemen, Monte-Carlo-Suchverfahren).
Die fruchtbringenden Diskussionen trugen zum Verständnis der Sachverhalte und — hier besonders wichtig — der Vertiefung interdisziplinärer Kontakte bei.

Podiumsdiskussion: Simulation energetischer Prozesse mit Hilfe von Mikrorechnern
(Leitung: Dr. *H.-J. Gasse*, Leipzig)
Zunächst wurden drei Zielstellungen der Simulation energetischer Prozesse herausgearbeitet: a) Simulation von Netzen für Prognose und Ausbauplanung (die Vorbereitung langfristiger Entscheidungen verlangt auch weiterhin den Einsatz von Großrechnern; Verbesserung der bestehenden Systeme durch Einführung interaktiver Arbeitsweise), b) Simulation von Netzen für die operative Steuerung (um kurzfristig die Auswirkung von Schaltaktionen oder von simulierten Störungen vor ihrem realen Eintreffen ermitteln zu können, ist der übliche Großrechnerbetrieb zu schwerfällig) und c) Simulation für Ausbildungs- und Trainingszwecke (mehrere Anlagen werden erfolgreich angewendet; pneumatisches Modell). Der Entwicklungsstand und -trend der Mikrorechner wurde so eingeschätzt, daß wegen des zunehmenden Komforts (Geschwindigkeit, Speicherraum, Befehlsvorrat) Aufgaben, die bisher schnellen Großrechnern vorbehalten waren, bei geringeren Kosten auf Mikrorechnern gelöst werden können. Der niedrige Platz-, Investitions- und Bedienaufwand rechtfertigen auch seinen Einsatz als stets arbeitsbereiten Einzweckrechner. Weiterhin wurde zur Simulation mit Mikrorechnern diskutiert. Als erste Aufgabe in diesem Fachgebiet ist die Entwicklung eines neuen Kraftwerktrainers vorgesehen, der gegenüber dem bisherigen analogen Modell Vorteile haben dürfte. In der Zukunft ist auch ein großes Modell des gesamten Elektroenergienetzes denkbar, das on line mit dem Prozeß gekoppelt ist und so den aktuellen Netzzustand widerspiegelt. Der Dispatcher könnte dann die Auswirkungen aller vorgesehenen Schalthandlungen vorher untersuchen.

msr 6929 *H.-J. Bartsch*

Teilnahmemeldungen (mit/ohne Vortrag) zur 8. Jahrestagung (11. bis 14. Dezember 1979 in Rostock) sind an die WGMA in der KDT, 108 Berlin, Clara-Zetkin-Str. 115 – 117, oder an das Rechenzentrum der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, 25 Rostock, Albert-Einstein-Str. 21, zu richten.

Gründung des FUA Temperaturmeßtechnik

Auf Initiative des VEB Thermometerwerk Geraberg fand am 6. und 7. März 1979 in Ilmenau und Geraberg die konstituierende Arbeitsberatung des Fachunterausschusses Temperaturmeßtechnik in der Wissenschaftlich-technischen Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT statt. Er ist dem Fachausschuß Meßtheorie (Vors.: Prof. Dr.-Ing. habil. *D. Hofmann*, Jena) zugeordnet.

Dem neuen Fachunterausschuß gehören 19 Fachleute auf dem Gebiet der Temperaturmeßtechnik von wissenschaftlichen Einrichtungen, Herstellerbetrieben, dem ASMW und von BMSR-Abteilungen wichtiger Betriebe verschiedener Industriezweige an. Vorsitzender ist Doz. Dr.-Ing. *F. Bernhard* (TH Ilmenau/VEB Thermometerwerk Geraberg).

Der FUA Temperaturmeßtechnik hat sich zum Ziel gesetzt, den wissenschaftlich-technischen Informationsaustausch u. a. zu den Grundlagen der Temperaturmeßtechnik, zur weiteren Entwicklung von Temperaturmeßverfahren und -geräten, zur technischen Nutzung neuer Wandlerprinzipien, zu den Anforderungen an die Temperaturmeßtechnik in den verschiedenen Industriezweigen zu fördern. Wegen des Fehlens einer effektiven industriezweigübergreifenden Abstimmung auf diesem volkswirtschaftlich wichtigen Teilgebiet der Automatisierungstechnik wird er sich auch der gegenseitigen Information über Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zwischen Herstellern, Anwendern und Forschungseinrichtungen widmen. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit ist die Förderung von wissenschaftlich-technischen Veröffentlichungen, die aktive Beteiligung an nationalen und internationalen Konferenzen sowie die Weiterbildung.

Zweimal jährlich werden Arbeitsberatungen des FUA zu Schwerpunktthemen aus folgenden Problemkreisen stattfinden:

- meßtechnische und theoretische Grundlagen der Temperaturmeßtechnik,
- berührende elektrische Thermometer,
- elektronische Sekundärgeräte,
- berührungslose Temperaturmessung,
- industrielle Temperaturmessung.

Die erste Arbeitsberatung war den Aufgaben der Prozeßmeßtechnik beim Einsatz von Prozeßrechnern und Mikroprozessoren (Prof. *Hofmann*), den theoretischen Grundlagen und der experimentellen Bestimmung meßtechnischer Parameter von Berührungsthermometern (Forschungsarbeiten der TH Ilmenau) und der Herstellungstechnologie von Widerstandsthermometern und Thermoelementen (VEB Thermometerwerk Geraberg) gewidmet. Die zweite Arbeitsberatung im Oktober 1979 wird sich vorrangig mit den Problemen der Temperaturmessung in der chemischen Industrie befassen.

Interessenten wenden sich an: VEB Thermometerwerk Geraberg, Abt. WEA, 6306 Geraberg, Elbersburger Straße 1.

msr 6939 *F. Bernhard*

Einspindel-Rotationspumpe EPK

Die Spindelpumpe EPK (Bild 1) ist geeignet zum Pumpen von reinem und verschmutztem Wasser, vor allem aber zum Fördern von zähflüssigen, breiigen sowie faserigen Stoffen mit Anteilen von festen mechanischen Beimengungen. Darüber hinaus können schaumbildende und zur Gerinnung neigende sowie Niederschlag bildende Flüssigkeiten gefördert werden.
Spindelpumpen sind sehr gut als Dosierpumpen einsetzbar, da sich die Fördermenge proportional zur Spindeldrehzahl ändert. Außerdem lassen sich diese Pumpen, bedingt durch die gute Ansaugfähigkeit, sehr gut zum Ansaugen von Flüssigkeiten aus Vakuumräumen verwenden.
Die Arbeitsteile der Pumpe sind ein aus Stahl gefertigter Läufer und ein elastischer zweigängiger Stator. Bei Bewegung des Läufers entsteht eine sog. ununterbrochene Dichtungslinie, die den Druck- und den Saugraum der Pumpe zu jedem Zeitpunkt hermetisch abriegelt. Es ist daher auch möglich, ohne Hilfseinrichtungen stark viskose bzw. zähflüssige Stoffe anzusaugen.

Technische Daten

70-EPK

Förderleistung	107 – 165 l/min
Druck	bis 0,5 MPa
Temperatur des Mediums	max. 70 °C

80-EPK-400-S

Förderleistung	265 – 455 l/min
Druck	bis 0,5 MPa
Temperatur des Mediums	max. 70 °C

Exporteur: INTERSIGMA Prag.

msr 6948.3

Kugel-Absperrhähne K 85 111–516

Es handelt sich hierbei um Absperrarmaturen für waagerecht und senkrecht verlaufende Rohrleitungen, die auch von stark verschmutzten Medien durchlaufen werden können. Ein aus Stahl gegossenes Gehäuse enthält eine Spindel mit einer Kugel aus rostbeständigem Stahl und einen Kugelsitz aus einem elastischen nichtmetallischen Werkstoff. Die Betätigung erfolgt mit Handhebel oder Schlüssel.
Die Kugelhähne werden in den Größen NW 40 bis NW 150 hergestellt.
Exporteur: INTERSIGMA Prag.

msr 6948.5

Proportional-Sicherheitsventil P 16217–540

Es handelt sich hierbei um ein federbelastetes, gasdichtes Sicherheitsventil (Bild 3) zum Sichern von Druckgefäßen für Wasser, Dampf, Luft und nichtaggressive Gase und Flüssigkeiten. Das Ventil ist so konstruiert, daß beim Abblasen ein Entweichen des Arbeitsmediums in die Atmosphäre verhindert wird. Es wird in den Größen NW 40 und NW 50 gefertigt. Die zweckentsprechende Werkstoffauswahl aus rostfreiem Edelstahl gewährleistet einen langzeitigen Betrieb unter anspruchsvollen Betriebsbedingungen.
Exporteur: INTERSIGMA Prag.

msr 6948.4

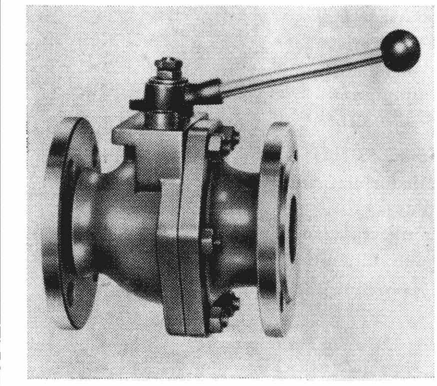
Horizontale Kreisel-Gliederpumpen der Reihe CTX

Diese Pumpenreihe (Bild 4) ist ein Ergebnis der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit zwischen der ČSSR und der DDR. Die neuentwickelte Reihe wurde hauptsächlich für sauberes und gering verschmutztes Wasser konzipiert und findet damit ihren Einsatz in der Trinkwasserwirtschaft. Wichtige Merkmale der neuen Konstruktionslösungen sind eine geringere Masse, größerer Anwendungsbereich in bezug auf Leistungsparameter, Verbesserung der Lager und ihrer Wartung.

Technische Daten

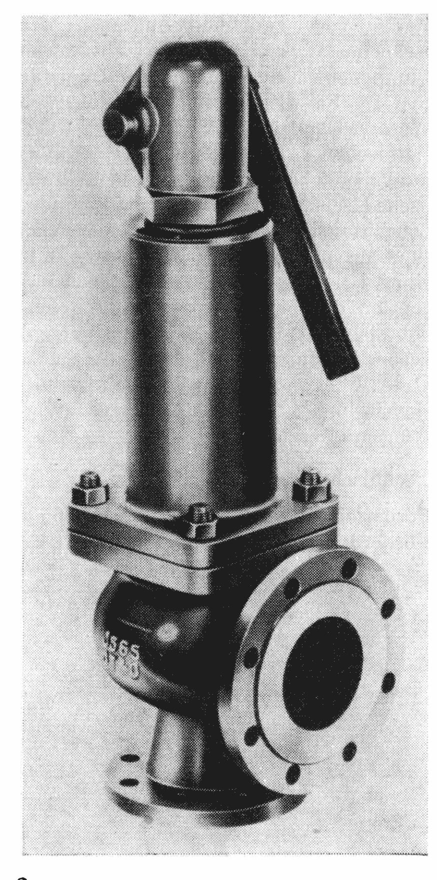
32-CTX-100-7

Förderleistung	3,8 – 7,5 m³/h
Wassersäule	10 – 141,9 m
Temperatur des Mediums	max. 130 °C
Stufenanzahl	1 – 11





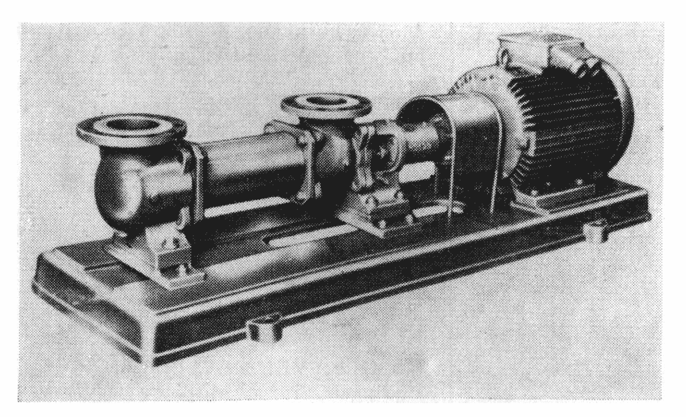
2



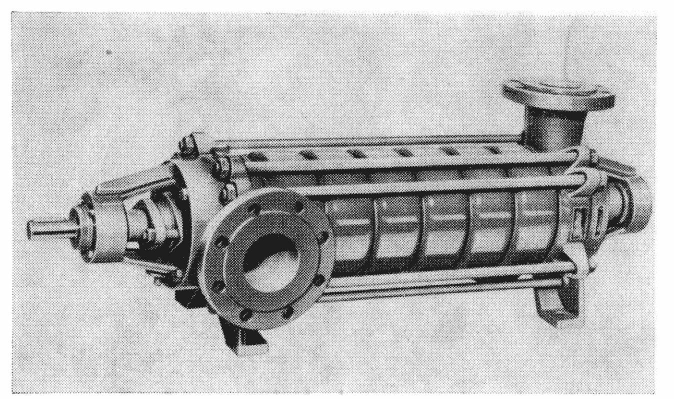
3



1



4



40-CTX-125-8

Förderleistung	7,5 – 15 m^3/h
Wassersäule	34 – 201 m
Temperatur des Mediums	max. 130 °C
Stufenanzahl	2 – 10

50-CTX-160-10

Förderleistung	15 – 30 m^3/h
Wassersäule	58 – 201 m
Temperatur des Mediums	max. 130 °C
Stufenanzahl	2 – 6

65-CTX-160

Förderleistung	30 – 60 m^3/h
Wassersäule	63 – 220 m
Temperatur des Mediums	max. 130 °C
Stufenanzahl	2 – 6

Exporteur: INTERSIGMA Prag.

msr 6948.2

Hochdruck-Tauchkolbenpumpe PAR

Die Hochdruck-Tauchkolbenpumpe 25-PAR (Bild 5) gehört zu einer neuen Reihe von Tauchkolbenpumpen der tschechoslowakischen Herstellerwerke Pumpeneinrichtungen und Armaturen für SIGMA. Sie dient der Beförderung von Wasser, Emulsionen und Ölen ohne mechanischen Beimischungen. Anwendungsbereiche der Pumpe sind hydraulische Kreisläufe von Umformmaschinen, Schachtausbauten, Druckstationen, stationären und mobilen Aggregaten mit einer Leistung bis 125 kW. Die Konzeption der neuen Pumpenreihe zeichnet sich, im Vergleich zur bisherigen, besonders durch geringere Massen aus. Unter Verwendung neuer Konstruktionslösungen wurde ein höherer Wirkungsgrad erzielt.

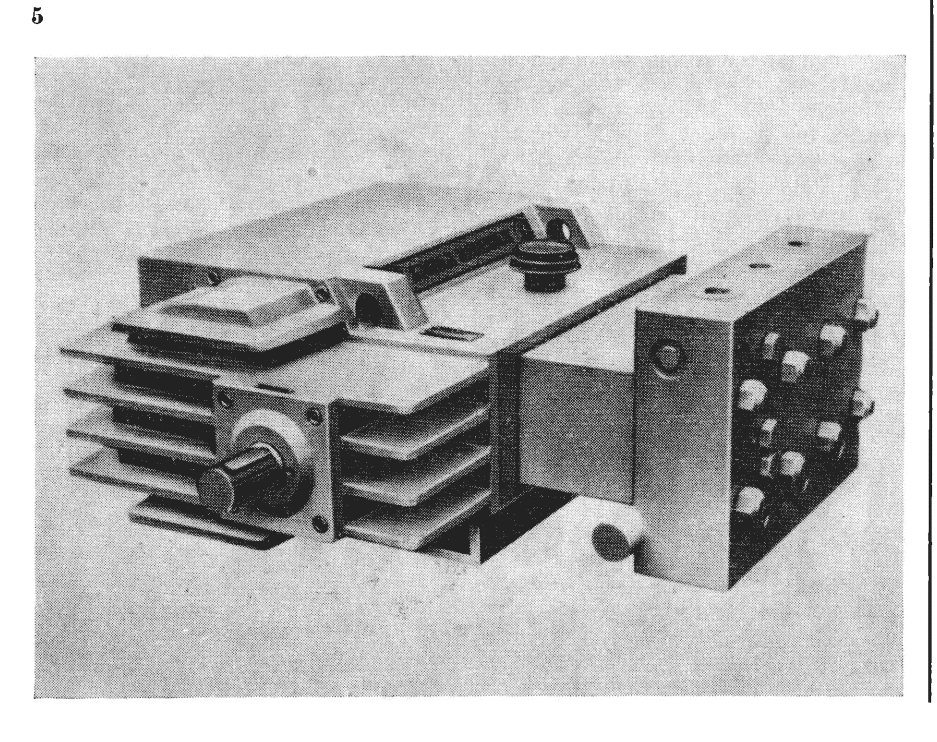
Technische Daten

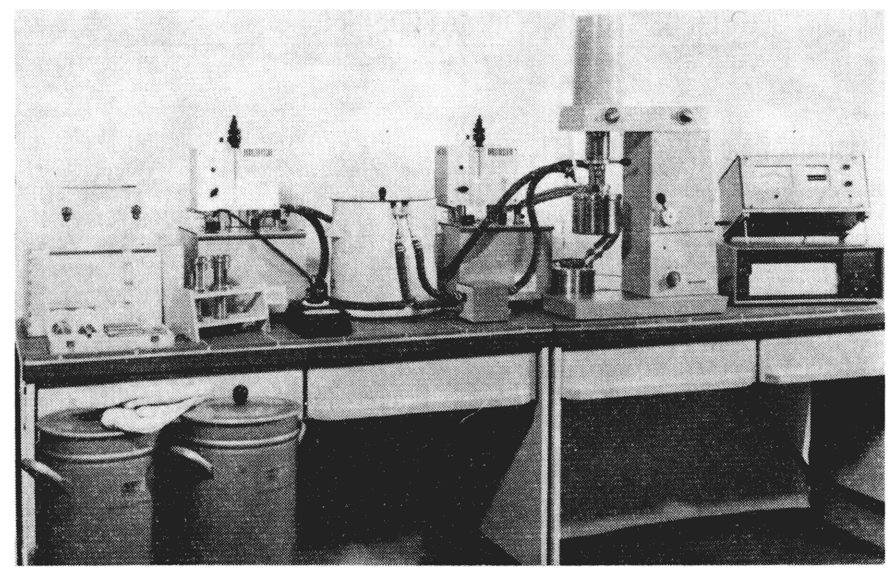
Förderleistung	39 – 114 l/min
Förderdruck	32 – 80 MPa

Exporteur: Intersigma Prag.

msr 6948.1

5





6

Viskositätsmeßeinrichtung

Der gesamte Meßplatz (Bild 6) besteht aus Viskosimeter „Rheotest", Umwälzthermostat U 7 für Meßtemperaturen ≦ Raumtemperatur (bis −60 °C), Umwälzthermostat U 7 für Meßtemperaturen > Raumtemperatur (bis +150 °C), Kältevorlage, Ventilrelais, Kompensationsbandschreiber und Dewargefäßen zur Aufbewahrung von Trockeneis.

Er dient zur Bestimmung der rheologischen Eigenschaften von hochviskosen Ölen und Schmierfetten (nach GOST) und z. B. von Bitumen bezüglich der Eignung beim Einsatz unter extremen klimatischen Bedingungen.

Technische Daten

Viskositätsmeßbereich	1 ... 4 · 10^8 mPa · s
Meßunsicherheit	max ±1%, bezogen auf Skalenendwert
Schubspannungsbereich	1,6 ... 2 · 10^5 Pa (16 ... 2 · 10^6 dyn/cm²)
Schergefällebereich	0,02 ... 4860 s^{-1}
Temperaturkonstanz	±1 K
Leistungsaufnahme	2,2 kW
Netzanschluß	220 V/50 Hz
Aufstellfläche (Labortisch)	2,5 m × 0,6 m
Gesamtmasse	127 kg
meßbare Stoffeigenschaften	dynamische Viskosität, Strukturviskosität, Dilatanz, Plastizität, Thixotropie, Rheopexie

Hersteller: VEB MLW Prüfgeräte-Werk Medingen, Sitz Freital.

msr 6825.3

Durchflußmesser TG 400

Der TG 400 ist ein Tischgerät zur Überwachung der Durchflußstärke gasförmiger Medien. Es kann direkt in Schlauchleitungssysteme eingeschaltet werden. Der Verwendungszweck gilt für alle nichtaggressiven Gase.

Zur Standardausführung gehören 3 Meßrohre, deren Meßbereiche sich überlappen. Insgesamt umfaßt der Meßbereich 3 ... 2200 l/h. Die Meßrohre lassen sich mit wenigen Handgriffen auswechseln.

Technische Daten

Meßbare Medien	nichtaggressive Gase
Nenndruck	0,2 MPa
Anschlußart	Schlauch, 13 mm
Meßrohrlänge	300 mm
Fehlerklasse	2,5 (bezogen auf Skalenendwert)
Betriebstemperatur	+10 ... +40 °C
Masse	0,8 kg

Hersteller: VEB MLW Prüfgeräte-Werk Medingen, Sitz Freital.

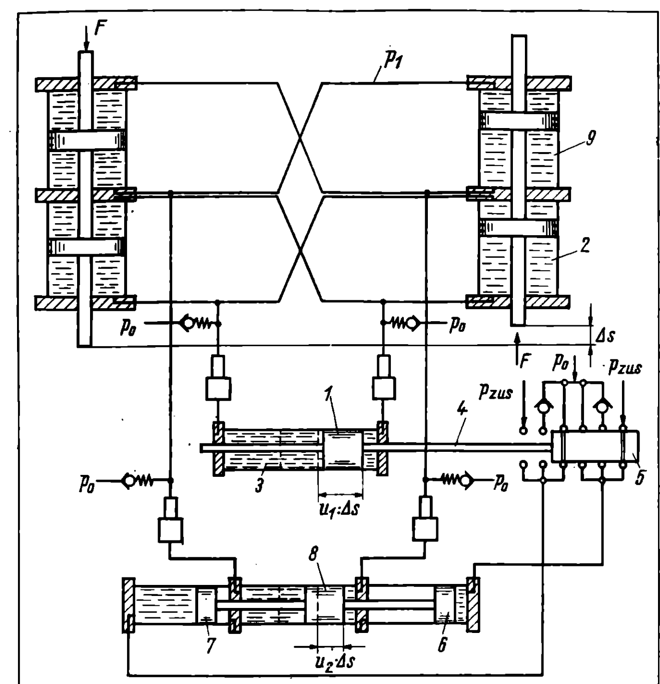
msr 6825.1

Arbeitskolbenvorrichtung

DDR-AP 130 497, Klasse F 15 B, Gruppe 9/07, 5 Ansprüche, 4 Zeichnungen. Inhaber: Transform Verstärkungsmaschinen AG, Bous/Saar (BRD). Anmeldung: 13. Juli 1977, Ausgabe: 5. April 1978, Priorität: 13. Juli 1976 BRD (P 2631479.4)

Die Erfindung betrifft eine Arbeitskolbenvorrichtung mit zwei oder mehreren doppelt wirkenden hydraulischen Kolbentrieben. Durch die Erfindung wird eine präzise Gleichlaufsteuerung für derartige Kolbentriebe vorgeschlagen und auf einfache und betriebssichere Weise sämtliche auftretenden Ungenauigkeiten selbsttätig kompensiert.

Erfindungsgemäß sind am Ende des Rücklaufweges der Kolbenstange koaxial justierbare Widerlager und in den Verbindungsleitungen zwischen den Hubräumen jedes Zylinders elektrisch gesteuerte Ventile vorgesehen, die nur im Zeitintervall des Rücklauftotpunktes geöffnet sind, wobei infolge die durch Fehlstellung eines der Kolbentriebe bedingte Verschiebung eines Steuerkolbens *1* in einem mit den Hubräumen der Meßzylinder *2* hydraulisch verbundenen Steuerzylinder *3* über ein mit einer Kolbenstange *4* fest verbundenes Schieberventil *5*, Antriebskolben *6*, *7* druckbeaufschlagt oder entlastet werden und durch deren Verschiebung bei gleichzeitiger Mitführung des Arbeitskolbens *8* bis zur Mittelstellung die Hubräume der Kolbentriebe *9* zwangsweise auf ein gleichgroßes Volumen gebracht werden. Durch die Erfindung wird speziell die Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten derartiger Gleichlaufsteuerungen (auf Kolbenantriebe mit geschlossenem Ölkreislauf), bei denen sowohl Druck- als auch Zugkräfte die zu synchronisierenden Arbeitskolben belasten (z. B. bei der Parallelisierung eines Verkantungsmoments) angestrebt. Dabei ist die Summe aller Kolbenkräfte gleich Null. Die Verbesserung auf konstruktiv einfache und betriebssichere Weise erreicht und denkbare Ungenauigkeiten auf selbst kompensierende Weise sollen ausgeschaltet werden. msr 6913



1 Steuerkolben, 2 Meßzylinder, 3 Steuerzylinder, 4 Kolbenstange, 5 Schieberventil, 6; 7 Antriebskolben, 8 Arbeitskolben, 9 Kolbenantriebe

Arbeitsbuch Automatisierungstechnik. Hrsg.: *H. Töpfer* und *S. Rudert.* Berlin: VEB Verlag Technik 1979. 141 Seiten 105 Bilder, 10, — M.
Bestell-Nr. 552 665 5.

Es ist zu begrüßen, daß die Herausgeber zu ihrem Lehrbuch „Einführung in die Automatisierungstechnik" ein Arbeitsbuch folgen ließen, das die Zielstellung hat, bei dem Leser Fähigkeiten und Fertigkeiten zur Bearbeitung praxisgerechter Aufgaben herauszubilden. Durch ein fachkundiges Autorenkollektiv wurden steuerungstechnische einschließlich regelungstechnischer Problemstellungen aus einem breiten Feld der Technik abgeleitet. Damit wird gewährleistet, daß nicht nur Leser des genannten Lehrbuches, sondern Ingenieure verschiedener technischer Disziplinen, die Grundkenntnisse auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik besitzen, Anleitung zur Anwendung ihres Wissens bekommen.
Sicherlich ist es kein Nachteil, wenn vorwiegend die klassische Theorie zur Lösung der durchweg komplexen Problemstellungen herangezogen wird. Dem Leser zeigt sich somit anschaulich, daß viele praktische Aufgaben zufriedenstellend mit klassischen Methoden lösbar sind. Andererseits erkennt er auch die Gültigkeitsgrenzen.
Das Ziel der Aufgaben orientiert stark auf Methoden, Verfahren und Prinzipien der praktischen Automatisierungstechnik. Dadurch werden die gezeigten Lösungswege auf andere Problemstellungen übertragbar. Wertvoll für den Leser ist, daß Lösungsvarianten diskutiert und die erzielten Ergebnisse vom Standpunkt der Praxis eingeschätzt werden. Infolge der Bindung der Problemkomplexe an die aufeinanderfolgenden Stufen des Lehrbuches werden die Teilaufgaben nach dem jeweils erreichten Erkenntnisstand formuliert. Der Leser wird zu einer weiterführenden Lösung der Probleme angeregt.
Es ist zu erwarten, daß das Arbeitsbuch eine gute Aufnahme finden wird.

B 1296 *J. Breier*

Berechnung von Regelsystemen mit Digitalrechnern. Von *W. W. Solodownikow, W. W. Semjonow, M. Peschel* und *D. Nedo.* Berlin: VEB Verlag Technik 1979. 575 Seiten, 132 Bilder, 10 Tafeln, 74,— M.
Bestell-Nr. 552 496 7.

Die Monographie ist ein Gemeinschaftswerk führender sowjetischer und deutscher Fachleute auf dem Gebiet der Modellierung und Simulation von Regelsystemen.
Die Anwendung von methodischen Hilfsmitteln für die Digitalrechnersimulation stetiger Systeme ist von wachsender volkswirtschaftlicher Bedeutung.
Es werden zwei Vorgehensweisen zur leistungsstarken Nachbildung des Verhaltens von Grundblöcken, wie sie üblicherweise in der Regelungstechnik verwendet werden, und daraus zusammengesetzter Systeme untersucht. Beide Zugänge unterscheiden sich wesentlich von den bisher bekannten Methoden darin, daß die Zeit implizit in einem vorgegebenen Satz von Basisfunktionen enthalten ist und die Signalbilder die Koeffizientenfolgen der Signalentwicklungen nach diesen Basisfunktionen sind.

Die von den sowjetischen Autoren entwickelte Methode basiert auf der Theorie der Funktionalreihen im Sinne der Fourier-Entwicklung von Signalen. Von besonderer Bedeutung hierbei ist die Anwendbarkeit für Signalentwicklungen auf instationären Zeitintervallen und die Ausdehnung dieser Theorie zu einer Korrelations- und Spektraltheorie instationärer zufälliger Prozesse. Die Methode der deutschen Autoren stützt sich auf die Interpolationstheorie zur Verhaltensbeschreibung beliebiger linearer Systeme. Diese führt zu Signaldarstellungen in Form verallgemeinerter Taylor-Reihen. Hervorzuheben ist hier die leichte Berechenbarkeit der Koeffizientenfolgen.

Beide Methoden können im Sinne einer Spline-Technik auch auf nichtlineare und zeitvariable Systeme angewendet werden. Für die Spektral- und die Interpolationsmethode werden sowohl die Prinzipien zur Projektierung der Simulations-Software als auch spezielle Realisierungen behandelt.
Die Leistungsfähigkeit beider Methoden wird anhand eines komplexen Beispieles untersucht.
Die in der Monographie ausführlich dargelegten Methoden stellen aus theoretischer und praktischer Sicht eine Bereicherung auf dem Gebiet der Modellierung und Simulation stetiger Regelsysteme dar.
Das Buch kann allen Lesern empfohlen werden, die ein fachspezifisches Interesse an der Projektierung und Anwendung von Simulationssystemen haben.

B 1291 *H.-M. Voigt*

Handbuch Meßtechnik und Qualitätssicherung. Von *D. Hofmann.* Berlin: VEB Verlag Technik 1979. 416 Seiten, 205 Tafeln mit zahlreichen Bildern, 38,— M. Bestellnummer 552 732 5.

Dieses Handbuch bereichert das Buchangebot der DDR um eine interessante Neuerscheinung. Da „die anspruchsvollen Zielstellungen für die Wirtschaftsentwicklung der nächsten Jahre ... eng mit der beschleunigten Qualitätsentwicklung verbunden" sind und die Kontrolle der zahlreichen Qualitätsparameter ... eine Aufgabe der Prüf- und Meßtechnik" ist, wie im Vorwort sehr richtig festgestellt wird, kann man es nur begrüßen, daß es der Autor unternommen hat, die Wechselwirkungen zwischen Meßtechnik und Qualitätssicherung zu untersuchen. Dies geschieht vornehmlich in den ersten beiden Abschnitten. In den nächsten Abschnitten folgt eine mit vielen Tabellen durchsetzte Darstellung der allgemeinen Grundlagen der Meßtechnik, wobei besonders die 36 Seiten über Meßfehler und ihre Behandlung hervorzuheben sind.

Der nächste Teil des Buches beschäftigt sich explizit mit der Qualitätssicherung. In 4 Abschnitten werden kurze Ausführungen zu Maß- und Toleranzketten, zur Prüftechnologie und zur statistischen Qualitätskontrolle gemacht, wobei ein Abschnitt den Meßstrategien gewidmet ist. Diese gedrängte Einführung ist sicher zur Motivation und einem ersten Bekanntmachen mit diesen Problemen gut geeignet. Während diese Abschnitte auch Lehrbuchcharakter haben, tritt im letzten Drittel des Buches der Handbuchcharakter in der Darstellung deutlich hervor. Dort wird etwas ausführlicher die Messung von räumlichen und zeitlichen Größen sowie der Temperatur, etwas knapper die Messung von Massen, Kräften und Drücken, von elektrischen Größen (speziell Strom und Spannung) sowie von ausgewählten optischen und lichttechnischen Größen beschrieben. Bei jeder Größe werden Grundbegriffe, Standards und Normale behandelt, Übersichten über die Meßprinzipe gegeben und in tabellarischer Form Auswahlen wichtiger Meßsysteme zusammengestellt. Wer es ermessen kann, welche Mühe das Erarbeiten solcher Tabellen, in denen Angaben zu Meßbereichen, Meßunsicherheiten, Einstellzeiten sowie Vor- und Nachteilen enthalten sind, im allgemeinen bereitet, der wird diesen Teil des Buches besonders hoch schätzen und höchstens bedauern, daß es sich nur um eine Auswahl aus dem Gesamtumfang der meßtechnisch interessanten Größen handelt und fast nur analoge Meßverfahren in den Tabellen berücksichtigt sind (einen Abschnitt zur digitalen Meßtechnik findet man im Grundlagenteil). Dies ist die Folge der Kompromisse, die erforderlich waren, um den Umfang des Buches in Grenzen zu halten, wie aus dem Vorwort ersichtlich wird. Die Ausführungen zur Längen- und Temperaturmessung bestätigen die alte Erfahrung, daß jeder Autor diejenigen Gebiete mit besonderer Liebe und Gründlichkeit

bearbeitet, auf denen er die umfangreichsten eigenen Erfahrungen besitzt. Deshalb wird dieses Buch im Maschinenbau und der Feinmechanik besonderen Anklang finden; für die Verfahrenstechnik und vor allem die Elektrotechnik/Elektronik gilt das sicherlich in geringerem Maße. Besonders lobend hervorzuheben ist das Bemühen des Verfassers, die Bedingungen der DDR durchgängig in den Vordergrund zu stellen, indem er einschlägige Standards (TGL und GOST) und gesetzliche Vorschriften mit aufgenommen hat, so daß der DDR-Leser kaum eine bessere Zusammenstellung derartiger nützlicher Informationen finden kann. Das Buch wird von Studierenden neben der Vorlesung, von allen anderen Lesern vorzugsweise als Nachschlagewerk benutzt werden können. B 1295 *H. Hart*

Digitale Meßverfahren. Von *G. Sahner*. Berlin: VEB Verlag Technik 1979. 168 Seiten, 112 Bilder, 12 Tafeln, 35,— M. Bestell-Nr. 552 733 2.

Die meßtechnische Literatur ist — nicht zuletzt dank der Herausgabe der Reihe Meßtechnik, in der das Buch erscheint — in zunehmendem Maße reichhaltig geworden. Die Tendenz zur Spezialisierung läßt aber auch gelegentlich die Grundlagen in den Hintergrund treten, auf denen eine aktuelle oder vertiefende Anwendung überhaupt erst basieren kann.

Diese Tendenz dürfte mit Anlaß gewesen sein, ein Buch über digitale Meßverfahren (bei ausdrücklichem Verzicht auf schaltungstechnische Details und digitale Weiterverarbeitung) herauszugeben. In beispielhaft konzentrierter Form ist es dem Autor gelungen, in fünf Abschnitten (Einführung und Übersicht; Zähler und Zähleranwendungen; Umsetzer; Dynamische und statische Fehler digitaler Meßverfahren; Digitale Meßgeräte und Meßeinrichtungen) die Methoden digitaler Meßverfahren vollständig darzustellen. Durch Verzicht auf aktuelle Gerätebeispiele ist sichergestellt, daß die wiedergegebenen Methoden von großer Allgemeingültigkeit bleiben, die heute technologisch mögliche Großintegration aber voll berücksichtigt werden konnte, weil jede elektronische Realisierung nur mittelbar das Verfahren selbst beeinflußt.

An dem Buch besticht die Prägnanz und Vollständigkeit, mit der die heute bekannten Verfahren und Methoden dargestellt werden. Am auffälligsten ist das wohl an dem Abschnitt über dynamische und statische Fehler digitaler Meßverfahren spürbar, in dem die Problematik der sehr divergenten Fehlerursachen und ihrer Aggregierung gründlich und umfassend dargestellt wird. Damit gelingt dem Autor eine zusammenfassende Darstellung mit monografischem Charakter, die dem Anliegen der Reihe Meßtechnik voll entspricht.

Das Buch aus langjähriger Hochschullehrertätigkeit an der TH „Otto von Guericke" Magdeburg hervorgegangen, ist zwar kein Lehrbuch im eigentlichen Sinn, ist aber sehr gut geeignet, um sich in das Fachgebiet vertiefend einarbeiten zu können. Vorausgesetzt werden dazu Grundkenntnisse in elektronischer Schaltungstechnik.

Das Buch ist Ingenieuren und Studierenden im Fachstudium gleichermaßen zu empfehlen. Wegen der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der digitalen Meßtechnik ist die Fachdisziplin des Benutzers nicht entscheidend, sondern vielmehr das Bedürfnis, Eigenschaften, Leistungsfähigkeit und die heute sehr weiten Grenzen digitaler Meßverfahren kennenzulernen — ein Bedürfnis, das das vorliegende Buch umfassend erfüllt.

B 1274 *W. Richter*

VEM-Handbuch Leistungselektronik. Von einem Autorenkollektiv, Berlin: VEB Verlag Technik 1978. 476 Seiten, 396 Bilder, 52 Tafeln, 34,— M. Bestell-Nr. 552 611 0.

Das VEM-Handbuch Leistungselektronik wendet sich an einen breiten Kreis von Technikern mit dem Ziel, die Möglichkeiten und Vorteile des Einsatzes leistungselektronischer Baugruppen zu zeigen und dadurch die breite Einführung in die Praxis zu fördern.

Es wird dieser Zielstellung dadurch gerecht, daß es beim Leser nur einige Vorkenntnisse der Grundlagen der Elektrotechnik voraussetzt und im Text weitgehend auf mathematische Darstellungen verzichtet. Prizipschaltungen, anschaulich erläutert, werden in großer Anzahl angegeben und durch Abbildungen ausgeführter Geräte und Baugruppen, insbesondere aus dem Produktionsprogramm des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin, ergänzt.

Der erste Teil des Buches, Grundlagen, enthält relativ ausführliche Abschnitte über Ventile und über Schaltungen der Stromrichter. Diese Abschnitte vermitteln wertvolles Grundlagenwissen. Der Abschnitt „Grundsätzliches über Geräte und Anlagen der Leistungselektronik" erläutert die Einsatzbedingungen des Stromrichters, Fragen der Signalverarbeitung sowie technologische Probleme der Herstellung.

Der zweite Teil des Buches behandelt Anwendungen, bezogen auf vier wichtige Anwendungsgebiete:

Geräte und Anlagen zur Stromversorgung; Stromrichter für Antriebsregelungen; Stromversorgung für technologische Prozesse; Konsumgüter.

Es werden Prinzipschaltungen angegeben und qualitativ erläutert. Diese Abschnitte spiegeln den Stand der Anwendung derLeistungselektronik in der DDR zum Zeitpunkt der Bearbeitung des Buches wider und ermöglichen dem Leser, Schlußfolgerungen über Entwicklungstendenzen und Anwendungsmöglichkeiten auf seinem eigenen Fachgebiet zu ziehen.

Ein ausführliches Literaturverzeichnis, das auch die einschlägigen Standards, Vorschriften und IEC-Empfehlungen enthält, ermöglicht dem Leser die Information über Spezialfragen.

Das VEM-Handbuch Leistungselektronik wird insgesamt der gestellten Aufgabe voll gerecht und stellt so eine wertvolle Erweiterung der VEM-Handbuchreihe des Verlages dar. Das Studium des Buches ist vor allem Ingenieuren der Industrie, aber auch Studenten zu empfehlen, die sich mit der Leistungselektronik aus der Sicht des Anwenders auseinandersetzen. B 1294 *R. Schönfeld*

Werkzeugmaschinen. Band 3: Automatisierung und Steuerungstechnik. Von *M. Weck.* Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1978. 399 Seiten, 296 Bilder, 7 Tafeln, 1 Faltblatt.

Der Band 3 von vier Büchern der Reihe „Studium und Praxis" zum Thema „Werkzeugmaschinen" behandelt die Automatisierung von Werkzeugmaschinen in systematischer Darstellung unter Berücksichtigung des zunehmenden Trends zur Nutzung der Elektronik. Ausgehend von der Darstellung automatischer Funktionen an Werkzeugmaschinen werden zunächst mechanische Automaten und elektrische, hydraulische sowie elektro-hydraulische Nachformsysteme behandelt. Nach der Darstellung der Grundlagen und Anwendung der klassischen Steuerungstechnik werden die numerischen Steuerungen (NC-Systeme) bis hin zu den freiprogrammierbaren Steuerungen besprochen. Entsprechend der Bedeutung der Vorschubantriebe wird diesem Komplex — ausgehend von den Grundlagen der Regelungstechnik — unter Beachtung der konventionellen und modernen Antriebsmittel große Aufmerksamkeit geschenkt. Den Positionsmeßeinrichtungen und Verfahren für Wege und Winkel werden ebenso gesonderte Abschnitte gewidmet wie den adaptiven Systemen und den DNC-Systemen (rechnergeführte Steuerung mehrerer numerisch gesteuerter Arbeitsmaschinen durch Digitalrechner).

Den Abschluß des Buches bilden Darlegungen zum Konzept flexibler Fertigungssysteme und zum Problem der Betriebsdatenerfassung. Das in allen Abschnitten außerordentlich anschauliche Bildmaterial des Buches trägt wesentlich dazu bei, daß der große Stoffumfang recht anschaulich, anwendungsbezogen und theoretisch fundiert dargestellt werden konnte.

Das Buch beschreibt somit für den Werkzeugmaschinenbau weitgehend den derzeitigen Entwicklungsstand.

B 1263 *H. Töpfer*

KURZFASSUNGEN

Müller, R.: IA 6.2.

Betrachtungen zur Ökonomie der Automatisierung

msr 22 (1979) H. 7, S. 362–364

Die Automatisierung wird in funktionsintegriert und funktionsverbessernd sowie in Automatisierungsfunktion und funktionserfüllende Instrumentierung unterteilt. Nutzensbetrachtungen sind nur für die funktionsverbessernde Automatisierung sinnvoll. Der Nutzen entsteht häufig weitgehend durch die Automatisierungsfunktion, die funktionserfüllende Instrumentierung ist nach verallgemeinernden Gütekriterien zu bewerten. Dazu sollten Standard-Gewichtsvektoren für die einzelnen Komponenten des Gütekriteriums vereinbart werden.

Wolf, R.: IA 4.1.4; 5.6.2.9

Galvanische Trennung und Sicherheitstechnik in Automatisierungsanlagen

msr 22 (1979) H. 7, S. 364–369

Der Beitrag befaßt sich mit Prinzipien und Anwendungen von galvanischen Trenngliedern und Sicherheitsbarrieren. Als Ergebnis zeigt sich, daß sich die Einsatzbreite dieser Technik und die Forderung nach Geräten zur Informationsgewinnung mit interner galvanischer Trennung, bedingt durch die in verstärktem Maß in Anlagen und Warten notwendig werdende Unterdrückung von Störspannungen, vergrößert hat.

Laurich, K.; Müller, G.; Wallau, H.: IA 5.6.2.0

Automatisierungssystem für Kabelummantelungsanlagen

msr 22 (1979) H. 7, S. 370–374

Für das früher aufgestellte mathematische Modell der Zweigrößenregelstrecke von Kabelummantelungsanlagen für Aderkapazität und -durchmesser wird ein Zweigrößenregelungssystem unter Verwendung von Impulsreglern mit Pulsbreitenmodulation dimensioniert und auf Güte untersucht. Es wird gezeigt, daß mit der Zweigrößenregelung an Kabelummantelungsanlagen wesentliche Verbesserungen an Produktqualität und Materialökonomie erreichbar sind.

Kriesel, W.; Schmidt, R.; Schmidt, P.: IA 2.4.1

Mehrgrößenregelungen mit elektrisch-analogen Bausteinsystemen

msr 22 (1979) H. 7, S. 377–380

Für industrielle Anwendungsbemühungen zu modernen Mehrgrößen-Regelungskonzepten, wie sie insbesondere auf der Grundlage von Zustandsraumbeschreibungen entwickelt wurden, ist die Umsetzung mit handelsüblicher Gerätetechnik eine wichtige Voraussetzung. Es wird daher gezeigt, wie die gerätetechnische Realisierung derartiger Mehrgrößenregelungen auf der Basis elektrisch-analoger Bausteinlösungen moderner Gerätesysteme (z. B. System ursamat) vollständig möglich ist, so daß sich von der Geräteseite keine prinzipiellen Schranken für die praktische Anwendung dieser neuartigen Regelungsprinzipien entgegenstellen. Insbesondere wird eine Lösung mit Seriengeräten vorgeschlagen, bei der PI-Regler mit einem Mehrgrößenzusatzregler überlagert sind.

Sauer, W.; Geyler, S.; Keller, S.: IA 4.0.5; 4.1.1

Erfassung und statistische Analysen des Mengenverhaltens technologischer Prozesse sowie deren Einflußfaktoren

msr 22 (1979) H. 7, S. 389–393

Aus Stückzahlfolgen von Fertigungssystemen werden mit Hilfe der Korrelationsanalyse günstige Zwischenspeicherkapazitäten und Werkstückvorräte bestimmt. Der Untersuchung des Mengenverhaltens technologischer Prozesse hinsichtlich des Einflusses autonomer bzw. gesteuerter Faktoren dienen multiple Mittelwertvergleiche, die statistische Versuchsplanung und Verfahren der Zeitreihenanalyse.

Hofmann, D.: IA 3.2.3

Einfluß additiver und multiplikativer Meßfehler auf die Genauigkeit von Temperaturmessungen

msr 22 (1979) H. 7, S. 393–396

Ein wesentlicher Bestandteil des Meßprozesses ist die Meßfehleranalyse. Dabei müssen wachsende Anforderungen an die exakte Behandlung systematischer und zufälliger, additiver und multiplikativer, statischer und dynamischer Meßfehler gestellt werden. Im Beitrag sind für eine relativ einfache Temperaturmeßaufgabe die einzelnen Fehlerursachen und -wirkungen sowohl errechnet als auch anschaulich interpretiert. Die angegebene Methode ist allgemeingültig und auf andere Meßaufgaben übertragbar.

Weber, J.: IA 3.2.3

Thermoelement-Hitzdrahtanemometer zur Grenzschichtmessung bei freier Konvektion in Flüssigkeiten

msr 22 (1979) H. 7, S. 397–400

Es werden Schaltung, Aufbau und Meßergebnisse eines direkt beheizten Thermoelement-Hitzdrahtanemometers vorgestellt. Das Meßgerät diente für Grenzschichtuntersuchungen bei freier Konvektion an wärmeabgebenden Körpern in Flüssigkeiten. Die beispielhaft dargestellten Meßergebnisse und Vergleiche mit Rechnungen lassen die Eignung für den genannten Einsatz erkennen. Das Meßprinzip erscheint für weitere Anwendungsfälle geeignet.

РЕЗЮМЕ

Müller, R.: ИА 6.2

Соображения об экономии автоматизации

msr 22 (1979) № 7, стр. 362–364

Автоматизация подразделяется на части, интегрирующуюся в функцию и улучшающую функцию, а также на функцию автоматизации и оснащение измерительной аппаратурой для выполнения функций. Соображения относительно эффективности целесообразны только для автоматизации, улучшающей функцию. Эффективность часто возникает функцией автоматизации; оснащение измерительной аппаратурой для выполнения функций следует оценивать по обобщенным критериям качества. Для этой цели необходимо было согласовать стандартные весовые векторы для отдельных составляющих критерия качества.

Wolf, R.: ИА 4.1.4; 5.6.2.9

Гальваническая развязка и техника безопасности в установках автоматизации

msr 22 (1979) № 7, стр. 364–369

Статья рассматривает принципы и применения элементов гальванической развязки и предохранительных пределов. В качестве результата показано, что произошло расширение области применения данной техники, а также требований к приборам получения информации со внутренней гальванической развязкой, вызванное подавлением помехонапряжений, требуемым в растущей мере в установках и щитах.

Laurich, K.; Müller, G.; Wallau, H.: ИА 5.6.2.0

Система автоматизации оборудования облицовки кабеля

msr 22 (1979) № 7, стр. 370–374

Для ранее установленной математической модели объекта регулирования двух величин для оборудования облицовки кабеля для емкости и диаметра жил определены размеры системы регулирования двух величин при применении регуляторов импульсов с ШИМ; качество этой системы проверено. Показано, что при помощи регулирования двух величин на оборудовании облицовки кабеля возможно достижение значительных улучшений качества продуктов и экономии материала.

Kriesel, W.; Schmidt, R.; Schmidt, P.: ИА 2.4.1

Регулирования по нескольким параметрам при помощи электрических аналоговых модульных систем

msr 22 (1979) № 7, стр. 377–380

С целью промышленного применения современных концептов регулирования по нескольким параметрам, разработанных в частности на основе описаний пространства состояний, важной предпосылкой является реализация общепринятой аппаратурной техники. Поэтому показано, каким образом возможна полная реализация аппаратурной техники таких регулирований по нескольким параметрам на основании электрических аналоговых модульных решений современных приборных систем (напр. системы УРСАМАТ) так, что со стороны приборов нет принципиальных препятствий относительно практического применения таких новых принципов регулирования. В частности, предложено решение с серийными приборами, при котором регуляторы ПИ работают с гетеродинным дополнительным регулятором по нескольким параметрам.

Sauer, W.; Geyler, S.; Keller, S.: ИА 4.0.5; 4.1.1

Получение и статистические анализы поведения множеств технологических процессов и их влияющих факторов

msr 22(1979) № 7, стр. 389–393

На основе серий штучных количеств технологических систем с помощью корреляционного анализа определены выгодные емкости промежуточных складов и запасы обрабатываемых изделий. Для исследования поведения множеств технологических процессов относительно влияния автономных или управляемых факторов предназначены многократные сравнения средних значений, статистическое опытное планирование и методы анализа временного ряда.

Hofmann, D.: ИА 3.2.3

Влияние аддитивных и мультипликативных погрешностей измерений на точность измерений температуры

msr 22 (1979) № 7, стр. 393–396

Важной составной частью процесса измерения является анализ погрешностей измерений. При этом должны быть предъявлены растущие требования к точному рассмотрению систематических и случайных, аддитивных и мультипликативных, статических и динамических погрешностей измерений. В данной статье для относительно простого задания измерения температуры как вычисляются, так и наглядно поясняются причины и воздействия погрешностей. Приведенный метод общепринятый и переносимый на другие задания измерения.

Weber, J.: ИА 3.2.3

Анемометр с нагреваемой нитью термопары для измерения граничного слоя при свободной конвекции в жидкостях

msr 22 (1979) № 7, стр. 397–400

Представлены схема, структура и результаты измерения анемометра с непосредственно нагреваемой нитью термопары. Прибор измерения предназначен для исследования граничных слоев при свободной конвекции у экзотермических тел в жидкостях. Указанные в качестве примера результаты измерения и сравнения с вычислениями дают узнать пригодность их для указанного применения. Принцип измерения кажется удобным для других случаев применения.

SUMMARIES

Müller, R.: IA 6.2

Considerations on the Economy of the Automation

msr 22 (1979) No. 7, pp. 362 – 364

The automation is divided in being function integrated and function improving as well as in automation function and function meeting instrumentation. Economy considerations are only useful for the function improving automation. The use frequently arises by the automation function. The function meeting instrumentation is to be valued on the base of generalized performance criteria. For this, standard weighting vectors for the individual components of the performance criterion must be fixed.

Wolf, R.: IA 4.1.4; 5.6.2.9

Galvanic Separation and Safety Techniques in Automation Devices

msr 22 (1979) No. 7, pp. 364 – 369

The author deals with principles and applications of galvanic separation elements and safety barriers. It results that the field of application of this technique and the demand for information acquisition devices with internal galvanic separation have enlarged, this being due to the suppression of interfering voltages more and more necessary in installations and guiding centres.

Laurich, K.: Müller, G.; Wallau, H.; IA 5.6.2.0

Automation System for Cable Sheathing Plants

msr 22 (1979) No. 7, pp. 370 – 374

For the mathematical model of a two-variable plant of cable sheathing installations for wire capacity and diameter the authors dimension and study a two-variable control system containing discrete controllers with pulse-width modulation. It is shown that by use of the two-variable control with cable sheathing plants essential improvements as to product quality and material economy may be obtained.

Kriesel, W.; Schmidt, R.; Schmidt, P.: IA 2.4.1

Multi-Variable Feedback Control by Means of Electric Analog Building Block Systems

msr 22 (1979) No. 7, pp. 377 – 380

For industrial applications of modern multi-variable feedback control conceptions such as on the base of the state space description the applicability of technical means available on the market is an important presupposition. Therefore the authors show how such multi-variable systems may be completely implemented by means of electric analog building block solutions of modern apparatus systems (e.g. URSAMAT system) so that technically there are no principal restrictions on the practical application of these new control principles. Finally, a solution by series devices is proposed with which PI-controllers are combined with an additional multi-variable controller.

Sauer, W.; Geyler, S.; Keller, S.: IA 4.0.5; 4.1.1

Acquisition and Statistical Analyses of the Quantity Behavior of Technological Processes and Their Influence Factors

msr 22 (1979) No. 7, pp. 389 – 393

By means of the correlation analysis favorable intermediate store capacities and workpiece stocks are determined from the piece sequences of fabrication systems. The multiple average value comparisons, the statistical experiment planning and the methods of the time series analysis serve for the study of the quantity behavior of technological processes with regard to the influence of autonomous and controlled factors.

Hofmann, D.: IA 3.2.3

The Influence of Additive and Multiplicative Measuring Errors on the Accuracy of Temperature Measurements

msr 22 (1979) No. 7, pp. 393 – 396

An essential part of the measuring process is the analysis of measurement errors. With this, increasing requirements are to be met as to the exact treatment of systematic and stochastic, additive and multiplicative, static and dynamic measurement errors. The author calculates and explains the individual causes and influences of errors by means of a simple temperature measurement problem. The given method is generally valid and may be transferred to other measuring problems.

Weber, J.: IA 3.2.3

Thermocouple Hot-Wire-Anemometer for the Boundary Layer Measurement with Free Convection in Liquids

msr 22 (1979) No. 7, pp. 397 – 400

The author presents circuit, construction and measuring results of a directly heated thermocouple hot-wire anemometer. The measuring device was used for studies of boundary layers with free convection on exothermic bodies in liquids. The presented measuring results and the comparisons with calculations show the aptness for the above use. The measuring principle seems to be suited for other cases of application.

RÉSUMÉS

Müller, R.: IA 6.2

Des considérations sur l'économie de l'automation

msr 22 (1979) No. 7, pp. 362 – 364

L'automation est divisé en étant fonction-intégrée et fonction-améliorante ainsi qu'en fonction d'automation et instrumentation fonction-remplissante. Des considérations économiques ne sont utiles que pour l'automation fonction-améliorante. Le bénéfice souvent résulte par la fonction d'automation. L'instrumentation fonction-remplissante doit être évaluée selon des critères de performance généralisés. Pour cela, des vecteurs de poids standardisés pour les individuelles composantes du critère de performance doivent être fixés.

Wolf, R.: IA 4.1.4; 5.6.2.9

La séparation galvanique et la technique de sécurité dans des installations d'automation

msr 22 (1979) No. 7, pp. 364 – 369

L'auteur traite des principes et des applications d'éléments de séparation galvanique et de barrières de sécurité. Il résulte que le champ d'emploi de cette technique et l'exigence pour des dispositifs d'acquisition d'information à séparation galvanique interne se sont étendus parce que la suppression de tensions perturbatrices devient de plus en plus nécessaire dans des installations et des centrales d'automation

Laurich, K.; Müller, G.; Wallau, H.: IA 5.6.2.0

Un système d'automation pour des installations d'enrobage de câble

msr 22 (1979) Nr. 7, pp. 370 – 374

Pour le modèle mathématique d'un processus à deux variables d'installations d'enrobage de câble, pour capacité et diamètre de fil, les auteurs dimensionnent et étudient un système asservi à deux variables contenant des régulateurs échantillonnés à modulation d'impulsions en durée. Il est montré que des améliorations essentielles quant à la qualité de produit et l'économie de matériaux peuvent être obtenues par l'emploi du réglage à deux variables près des installations d'enrobage de câble.

Kriesel, W.; Schmidt, R.; Schmidt, P.: IA 2.4.1

Des réglages multi-dimensionnels à l'aide de systèmes électriques analogiques de la boîte de construction

msr 22 (1979) Nr. 7, pp. 377 – 380

Pour des applications industrielles de conceptions modernes de systèmes asservis multi-dimensionnels en particulier développées sur la base de la description d'espace d'état, leur applicabilité à l'aide de la technique d'appareil disponible sur le marché est une supposition importante. C'est pourquoi, les auteurs montrent comment tels systèmes multi-dimensionnels peuvent être réalisés complètement sur la base de solutions électriques analogiques à blocs fonctionnels de systèmes d'appareil modernes (p.e. système URSAMAT) de sorte que techniquement il n'y a pas des restrictions fondées sur des principes pour l'emploi pratique de ces nouvelles conceptions de réglage. Enfin, une solution à l'aide d'appareils de série est proposée où des régulateurs PI sont combinés avec un additionnel régulateur multi-dimensionnel.

Sauer, W.; Geyler, S.; Keller, S.: IA 4.0.5; 4.1.1

L'acquisition et des analyses statistiques du comportement de quantité de processus technologiques et leurs facteurs d'influence

msr 22 (1979) No. 7, pp. 389 – 393

A l'aide de l'analyse de corrélation, des capacités de stock intermédiaire et des stocks de pièce à usiner favorables sont déterminés à partir de séquences de pièce de systèmes de fabrication. Des comparaisons multiples de valeur moyenne, le planning statistique d'expériences et les méthodes d'analyse de chroniques servent à l'étude du comportement de quantité de processus technologiques quant à l'influence de facteurs autonomes et commandés.

Hofmann, D.: IA 3.2.3

L'influence d'erreurs additives et multiplicatives de mesure sur la précision de la mesure de température

msr 22 (1979) No. 7, pp. 393 – 396

Une partie essentielle du processus de mesure est l'analyse des erreurs de mesure. A cela, des exigences augmentant doivent être remplies quant au traitement exact des erreurs de mesure systématiques et stochastiques, additives et multiplicatives, statiques et dynamiques. L'auteur calcule les individuelles causes et influences d'erreurs à l'aide d'un simple problème de la mesure de température. La méthode donnée est valide généralement et peut être transférée à autre problèmes de mesure.

Weber, J.: IA 3.2.3

Un thermocouple-anémomètre à fil chaud pour la mesure de couche limite pres de convection libre dans des liquides

msr 22 (1979) No. 7, pp. 397 – 400

L'auteur présente le montage, la construction et des résultats de mesure d'un thermocouple-anémomètre à fil chaud directement chauffé. Le dispositif de mesure était utilisé pour dés études de couches limites près convection libre sur de corps exothermiques dans des liquides. Les résultats de mesure présentés et des comparaisons avec des calculs montrent l'aptitude pour l'emploi susnommé. Le principe de mesure apparaît apte à autres cas d'emploi.

Bestellschein



Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Inland beim örtlichen Buchhandel bestellen.

Expl.

Berechnung von Regelsystemen auf Digitalrechnern
Anwendung von Spektral- und Interpolationsmethoden
Von einem Autorenkollektiv
1. Aufl., 576 Seiten, 132 Bilder, 10 Tafeln, 74,– M
Bestell-Nr. 552 496 7 ....

Handbuch Feinbearbeitung
Von *W. Degner* und *Ch. Böttger*
1. Aufl., 474 Seiten, 487 Bilder, 64 Tafeln, 40,– M
Bestell-Nr. 552 579 1

Grundlagen für die Projektierung und Berechnung von Hydraulikanlagen
Reihe AUTOMATISIERUNGSTECHNIK, Band 186
Von *G. Blumauer*
1. Aufl., 60 Seiten, 30 Bilder, 3 Tafeln, 4,80 M
Bestell-Nr. 552 669 8

Wissenschaft mit Zukunft
Reihe Populäre Kybernetik
Von *K. Göldner*
1. Aufl., 96 Seiten, 82 Bilder, 5,– M
Bestell-Nr. 552 736 7 ....

Luftfiltration
Reihe Luft- und Kältetechnik
Von *I. Nietzold*
1. Aufl., 120 Seiten, 78 Bilder, 13 Tafeln, 15,– M
Bestell-Nr. 552 700 9

Arbeitsbuch Automatisierungstechnik
Von *H. Töpfer* und *S. Rudert*
1. Aufl., 144 Seiten, 105 Bilder, 10,– M
Bestell-Nr. 552 665 5 ....

Darüber hinaus können Sie alle in der „msr" angezeigten und rezensierten Bücher des VEB Verlag Technik ebenfalls mit diesem Vordruck bestellen.

Expl.

....

....

....
Name, Vorname

....
Anschrift mit Postleitzahl

....
Datum Unterschrift

messen · steuern · regeln

Herausgeber	Kammer der Technik
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-102 Berlin, Oranienburger Str. 13/14 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 287 00; Telex: 011 2228 techn dd
Verlagsleiter	Dipl.-Ök. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dipl.-Ing.-Ök. *Ruth Gutjahr*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 287 03 62);
Lizenz-Nr.	1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	15 936
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	4,00 M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,00 M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	VEB Druckerei „Thomas Müntzer", 582 Bad Langensalza
	Umschlag – eingetragene Schutzmarke des Warenzeichenverbandes Regelungstechnik e. V., Berlin
Anzeigenannahme	DDR-Anzeigen: DEWAG Berlin, 1026 Berlin, Rosenthaler Str. 28–31 (Telefon: 236 27 76), und alle DEWAG-Zweigstellen. Anzeigenpreisliste Nr. 6 Auslandsanzeigen: Interwerbung, DDR-104 Berlin, Tucholskystr. 40
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter; örtlicher Buchhandel; VEB Verlag Technik
UdSSR	Gebiets- und Städtische Abteilungen von Sojuzpečat und Postämter
SVR Albanien	Spedicioni Shtypit te Jashtem, Tirane
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR Polen	ARS POLONA, Krakowskie Przedmieście 7, 00-068 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei si Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, București
ČSSR	PNS, Vinohradská 46, 120 43 Praha 2 PNS, Gottwaldovo nám. 48, 884 19 Bratislava
Ungarische VR	P.K.H.I., P.O.B. 16, 1426 Budapest
Republik Kuba	Instituto Cubano del Libro, Centro de Exposición, Belascoain 864, La Habana
VR China	China National Publications Import Corporation, P.O. Box 88, Peking
SR Vietnam	XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knijga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
BRD und Westberlin	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstr. 111, Berlin (West) 30; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52, sowie weitere Grossisten und VEB Verlag Technik, DDR-102 Berlin, Postfach 293
Österreich	Globus Buchvertrieb, Höchstädtplatz 3, 1200 Wien
Schweiz	Genossenschaft Literaturvertrieb, Cramerstr. 2, 8004 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-701 Leipzig, Postfach 160; VEB Verlag Technik, DDR-102 Berlin, Postfach 293

Annahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Allen Fachbeiträgen muß schriftlich die Freigabe des Betriebes bzw. der Institution beigefügt werden.

Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (Beilage) messen · steuern · regeln 1978 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst "Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] Vvedenie v kibernetičeskuju techniku (Einführung in die kybernetische Technik). Naukova dumka (USSR). 2,20 Rbl., 4. Quart. 1979. NK-No. 28 – 78 (41a).

[2] *Pankov, S. P.* Dokazatel'nye vyčislenija na elektronnych vycislitel'nych mašinach (Rechnungen auf der elektronischen Datenverarbeitungsmaschine zur Beweisführung). Ilim (Kirg. SSR). 1,50 Rbl., 1. Quart. 1979. NK-No. 28 – 78 (44).

[3] *Mezinger, G., Aarakava, A.:* Čislennye metody, ispol'zuemye v atmosfernych modeljach (Numerische Methoden, die in athmosphärischen Modellen angewendet werden). Gidrometeoizdat. 1,40 Rbl., 2. Quart. 1979. NK-No. 28 – 78 (104).

[4] Adaptivnye algoritmy upravlenija v bol'šich sistemach (Adaptive Algorithmen der Steuerung in großen Systemen). Ilim (KirgSSR). 1.00 Rbl., 1. Quart. 1979. NK-No. 28 – 78 (136).

[5] Dialogovye sistemy obrabotki informacii i prinjatija rešenij (Dialogsysteme der Informationsverarbeitung und Entscheidungsfindung). Ilim (KirgSSR). 1,00 Rbl., 1. Quart. 1979. NK-No. 28 – 78 (137).

[6] *Živogljadov, V. P.:* Integrirovannye sistemy upravlenija proizvodstvom (Integriertes System der Steuerung der Produktion). Ilim (KirgSSR). 1,50 Rbl., 2. Quart. 1979. NK-No. 28 – 78 (138).

[7] Avtomatika i avtomatizacija proizvodstvennych processov. Učebnik (Automatik und Automatisierung von Produktionsprozessen. Lehrbuch). Višča škola (USSR). 0,70 Rbl., 4. Quart. 1979. NK-No. 28 – 78 (276).

[8] *Zajčenko, Ju. P.:* Issledovanie operacij (Operationsforschung. Lehrbuch). Višča škola (USSR). 1,10 Rbl., 3. Quart. 1979. NK-No. 28 – 78 (285).

[9] *Ornatskij,* P. P.: Avtomatičeskie izmerenija i pribory. Učebnik (Automatische Messung und Geräte. Lehrbuch). Višča škola (USSR). 1,50 Rbl., 3. Quart. 1979. NK-No. 28 – 78 (288).

[10] Avtomatizacija proektirovanija pečatnych blokov s moduljami proizvol'noj formy (Automatisierung der Projektierung von Druckblöcken mit Modulen beliebiger Form). Mašinostroenie. 0,95 Rbl., 3. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (41).

[11] *Val'kov, V. M.:* Mikroelektronnye upravljajuščie vyčislitel'nye kompleksy (Mikroelektronische Prozeßrechnerkomplexe). Mašinostroenie. 0,90 Rbl., 4. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (42).

[12] Inženernye rasčety na EVM (Ingenieurberechnungen auf der EDVA. Nachschlagewerk). Mašinostroenie. 1,25 Rbl., 1. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (44).

[13] *Klejnrok, L.:* Teorija massovogo obsluživanija. Teorija (Bedienungstheorie. Theorie. Übers. aus dem Engl.). Mašinostroenie 2,70 Rbl., 4. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (45).

[14] *Kožinskaja, L. I., Vornovickij, A. E.:* Upravlenie kačestvom sistem (Steuerung der Güte von Systemen). Mašinostroenie. 0,50 Rbl., 2. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (46).

[15] *Kotin'o, Dž. de S.:* Upravlenie razrabotkami perspektivnych sistem (Steuerung der Entwicklung von perspektivischen Systemen. Übers. aus dem Engl.). Mašinostroenie. 2,80 Rbl., 4. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (47).

[16] *Majorov, S. A., Novikov, G. I.:* Struktura elektronnych vyčislitel'nych mašin (Struktur elektronischer Rechenmaschinen). 1,70 Rbl., Mašinostroenie. 2. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (48).

[17] Mikroelektronnye ustrojstva programmnogo i logičeskogo upravlenija (Mikroelektronische Anlagen zur Programmsteuerung und zur logischen Steuerung). Mašinostroenie. 0,85 Rbl., 2. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (49).

[18] *Petrov, V. V., Gordeev, A. A.:* Nelinejnye servomechanizmy (Nichtlineare Servomechanismen). Mašinostroenie. 2,20 Rbl., 3. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (50).

[19] Proektirovanie sledjaščich sistem dvustoronnego dejstvija (Projektierung von Folgesystemen zweiseitiger Wirkung). Mašinostroenie 3,00 Rbl., 4. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (51).

[20] Proektirovanie sledjaščich sistem s pomošč'ju EVM (Projektierung von Folgesystemen mit Hilfe der EDVA). Mašinostroenie. 3,00 Rbl., 2. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (52).

[21] *Rodžers, D., Adams, Dž.:* Matematičeskie osnovy mašinnoj grafiki(Mathematische Grundlagen der maschinellen Graphik. Übers. aus dem Engl.). Mašinostroenie. 1,70 Rbl., 3. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (53).

[22] *Šrajber, T. Dž.:* Modellirovanie na GPSS (Modellierung in GPSS). Mašinostroenie. 4.30 Rbl., 4. Quart. 1979. NJ-No. 32 – 78 (55).

[23] *Jang, D. F.:* Robotechnika (Robotertechnik. Übers. aus dem Engl.). Mašinostroenie. 1,80 Rbl., 3. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (56).

[24] *Jastrebov, V. S., Filatov, A. M.:* Sistemy upravlenija dviženiem robotov (Steuerungssysteme für die Bewegung der Roboter). Mašinostroenie. 1,40 Rbl., 2. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (57).

[25] *Dabagjan, A. V.:* Optimal'noe proektirovanie mašin i složnych ustrojstv (Optimale Projektierung von Maschinen und komplizierten Anlagen). Mašinostroenie. 2,65 Rbl., 2. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (86).

[26] *Dejneko, O. A.:* Effektivnost' i kačestvo upravlenija mašinostroenija predprijatiem (Effektivität und Güte der Steuerung in Maschinenbaubetrieben). Mašinostroenie. 1,30 Rbl., 3. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (87).

[27] *Chrabrov, A. S.:* Soveršenstvovanie processov avtomatizacii sboročnych rabot (Vervollkommnung der Prozesse der Automatisierung von Komplettierungsarbeiten). Mašinostroenie. 0,65 Rbl., 1. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (110).

[28] *Kozlov, V. I.:* Sistemy avtomatičeskogo upravlenija letatel'nymi apparatami (Systeme der automatischen Steuerung von Flugapparaten). Mašinostroenie. 0,65 Rbl., 3. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (279).

[29] *Dorofeev, K. P.:* Osnovy avtomatizacii proizvodstva i vyčislitel'naja technika v termičeskich cechach (Grundlagen der Automatisierung und Rechentechnik in thermischen Abteilungen). Mašinostroenie. 0,70 Rbl., 1. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (306).

[30] *Pučko, A. N.,* u. a.: Elektronnye cifrovye vyčislitel'nye mašiny (Elektronische Digitalrechenmaschinen). Mašinostroenie. 1,10 Rbl., 3. Quart. 1979. NK-No. 32 – 78 (316).

[31] *Antanavičjus, K..A.:* Modelirovanie i optimizacija v upravlenii stroitel'stvom (Modellierung und Optimierung in der Steuerung des Bauwesens). Strojizdat. 1,50 Rbl., 2. Quart. 1979. NK-No. 33 – 78 (6).

[32] Modelirovanie i primenie vyčislitel'noj techniki v stroitel'nom proizvdostve (Modellierung und Anwendung der Rechentechnik in der Bauproduktion). Strojizdat. 1,40 Rbl., 3. Quart. 1979. NK-No. 33 – 78 (21).

[33] *Kučerov, O. F.,* u. a.: Avtomatizirovannye sistemy upravlenija proizvodstvom stekla (Automatisierte Systeme der Steuerung der Glasproduktion). Strojizdat. 0,80 Rbl., 4. Quart. 1979. NK-No. 33 – 78 (169).

[34] *Teterin, G. P., Poluchin, P. I.:* Osnovy optimizacii i avtomatizacii proektirovanija technologičeskich processov gorjačej ob'emnoj štampovki (Grundlagen der Optimierung und Automatisierung der Projektierung technologischer Prozesse in Warmfließprozessen). Mašinostroenie. 1,40 Rbl., 2. Quart. 1979. NK-No. 33 – 78 (232).

[35] *Andrjuščenko, V. A.:* Sledjaščie sistemy avtomatizirovannogo sboročnogo oborudovanija (Folgesysteme der automatisierten Montageanlagen). Mašinostroenie. 1,00 Rbl., 4. Quart. 1979. NK-No. 33 – 78 (259).

[36] *Načarjan, S. A.:* Optimizacija avtomatičeskogo upravlenija sel'skochozjajstvennymi ustanovkami (Optimierung der automatischen Steuerung landwirtschaftlicher Anlagen). Mašinostroenie. 1,80Rbl. 1. Quart. 1979. NK-No. 33 – 78 (288).

[37] *Naginskaja, V. S.:* Avtomatizacija architekturno-stroitel'nogo proektirovanija (Automatisierung der Projektierung in Architektur und Bauwesen). Strojizdat. 0,50 Rbl., 4. Quart. 1979. NK-No. 33 – 78 (296).

[38] *Krupenčenko, V. R.,* u. a.: Avtomatizirovannye sistemy upravlenija v stroitel'stve (Automatisierte Systeme der Steuerung im Bauwesen). Strojizdat. 0,30 Rbl., 3. Quart. 1979. NK-No. 33 – 78 (317).

[39] *Bulatov, Ju. I.:* Metody algoritmizacii processov prokatnogo proizvodstva (Methoden der Algorithmierung von Prozessen der Walzproduktion). Metallurgija. 0,80 Rbl., 3. Quart. 1979. NK-No. 24 – 78 (3).

msr 6844

Geräte für die Meßwerterfassung

Zur Lösung vielfältiger Automatisierungsaufgaben in allen Industriezweigen fertigen wir:

Elektrische Meßumformer zur Wandlung elektrischer natürlicher Signale in elektrische Einheitsstromsignale.

— Der Typ EMU bietet höhere Genauigkeit und gewährleistet die Realisierung von Life-zero-Ausgangssignalen. Infolge der eigensicheren Variante kann das Gerät auch in explosionsgefährdeten Zonen in der Nähe des Meßortes eingesetzt werden.

— Der Typ KMU ist auch als Konstantstrom- bzw. Konstantspannungsquelle einsetzbar. Das Gerät realisiert die meßkreisseitige Eigensicherheit der Kategorie IICKo.

Weiterhin liefern wir:

Potentialtrenner Typ PTS zum Aufbau von eigensicheren Meß- oder Steuerstromkreisen, vorwiegend in Anlagen der Chemieindustrie mit Ex-Gefahr. Denn das Gerät gewährleistet die galvanische Trennung von eigensicheren und nichteigensicheren Stromkreisen und von Stromkreisen mit unterschiedlichem Potential.

DDR-AUTOMATISIERUNGSGERÄTE



VEB
MESSGERÄTEWERK
ERICH WEINERT
MAGDEBURG
BETRIEB DES KOMBINAT VEB EAW

HEIM-ELECTRIC
EXPORT-IMPORT
Volkseigener Außenhandelsbetrieb
der Deutschen Demokratischen Republik
DDR - 1026 Berlin, Alexanderplatz 6
Haus der Elektroindustrie
Telefon 21 80 · Telex 01 122-57